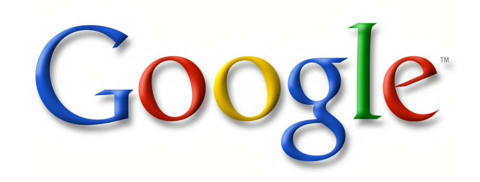
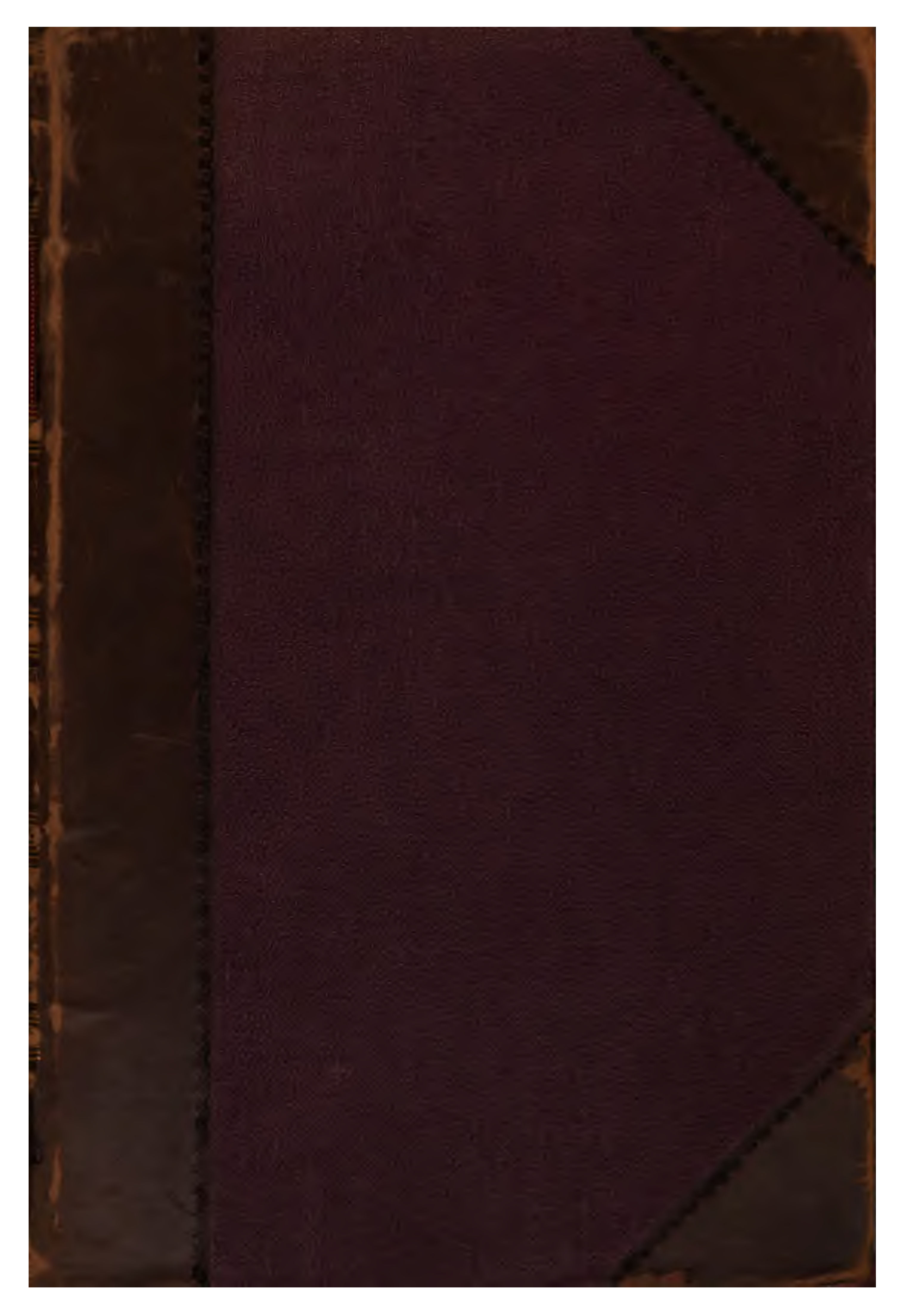
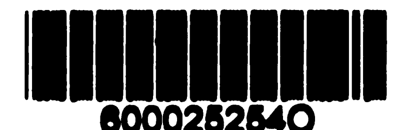








L'ATMOSPHÈRE

LES PLANCHES CHROMOLITHOGRAPHIQUES

de cet ouvrage ont été exécutées d'après les peintures et les aquarelles

DE MM. ACHARD, BERCHÈRE, E. CICÉRI, KARL GIRARDET, A. MARIE, SILBERMANN ET WEBER

LES GRAVURES SUR BOIS

ont été dessinées par MM. BAYARD, H. CLERGET, A. MARIE, A. DE NEUVILLE,

N. RAPINE, P. TELLIER, TOURNOIS, ETC.

11339 — Typographie Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris.

Hachette & Cie



Achard pinx.t

Eug. Cicéri Chromolith.

LE JOUR SUR LA TERRE.

Imp. Lemercier & Cie Paris.

L'ATMOSPHÈRE

DESCRIPTION

DES GRANDS PHÉNOMÈNES

DE LA NATURE

PAR

CAMILLE FLAMMARION

OUVRAGE CONTENANT
15 PLANCHES CHROMOLITHOGRAPHIQUES
ET 228 GRAVURES SUR BOIS

PARIS
LIBRAIRIE HACHETTE ET CIE
79, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 79

—

1872

PRÉFACE.

« In eâ vivimus, movemur et sumus. »

De tous les sujets qui peuvent solliciter notre attention studieuse, serait-il possible d'en trouver un qui fût d'un intérêt plus direct, plus permanent, plus important, que celui dont nous allons nous occuper ? L'Atmosphère fait vivre la Terre. Océans, mers, fleuves, ruisseaux, paysages, forêts, plantes, animaux, hommes : tout vit dans l'Atmosphère et par elle. Mer aérienne répandue sur le monde, ses vagues baignent les montagnes et les vallées, et nous vivons au-dessous d'elle, pénétrés par elle. C'est elle qui glisse en vivifiant fluide à travers nos poumons qui respirent, ouvre la frêle existence de l'enfant qui vient de naître, et reçoit le dernier soupir du moribond étendu sur son lit de douleur. C'est elle qui répand la verdure sur les riantes prairies, nourrissant les petites fleurs endormies comme les grands arbres qui travaillent à emmagasiner les rayons solaires pour nous les livrer plus tard. C'est elle qui décore d'une voûte d'azur la planète où nous roulons, et nous fait une demeure au milieu de laquelle nous agis-

sons comme si nous étions les seuls locataires de l'infini, les maîtres de l'univers. C'est elle qui illumine cette voûte des doux flamboiements du crépuscule, des splendeurs ondoyantes de l'aurore boréale, des palpitations de l'éclair, des multiples phénomènes aériens. Tantôt elle nous inonde de lumière et de chaleur, tantôt elle nous couvre d'un ciel sombre. Tantôt elle dessine des nuages de toute forme et de toute couleur, tantôt elle verse la pluie à torrents sur les campagnes altérées. Elle est le véhicule des suaves parfums qui descendent des collines, du son qui permet aux êtres vivants de communiquer entre eux, du chant des oiseaux, des soupirs de la forêt, des plaintes de la vague écumante. Sans elle, la planète serait inerte et aride, silencieuse et sans vie. Par elle le globe est peuplé d'habitants de toutes formes. Ses atomes indestructibles s'incorporent tour à tour dans les organismes vivants; nos corps, ceux des animaux, ceux des plantes, ne sont pour ainsi dire que de l'air solidifié; la molécule qui s'échappe de votre respiration va se fixer dans une plante, et par un long voyage revenir à d'autres corps humains; les mêmes éléments forment successivement les êtres divers; ce que nous respirons, buvons et mangeons, a déjà été respiré, bu, mangé, des millions de fois : morts et vivants, c'est la même substance qui nous forme tous.... Quel sujet d'étude d'un intérêt plus vaste et plus direct que celui du fluide vital auquel nous devons la manière d'être et l'entretien de notre vie ?

La connaissance de l'Atmosphère, de son état physique, de ses mouvements, de son œuvre dans la vie, des forces déployées dans son sein, des lois qui régissent ses phénomènes, forme une branche spéciale des connaissances humaines. Cette science, que l'on désigne depuis Aristote sous le nom de *Météorologie*, touche d'une

restre. C'est ici une synthèse des travaux accomplis depuis un demi-siècle, et un quart de siècle surtout, sur les grands phénomènes de la nature terrestre et les forces qui les produisent. La plupart d'entre nous, hommes de la Terre, à quelque nation que nous appartenions, vivons ici-bas sans nous rendre compte de notre situation, sans nous demander quelle est la force qui prépare notre pain de chaque jour, qui mûrit notre vin, qui préside à la métamorphose des saisons, qui déploie sur nos têtes la gaieté d'un ciel pur ou la tristesse des longues pluies et des froids sombres d'hiver. Cependant, qu'est-ce que vivre pour rester dans une telle ignorance? — J'ose espérer qu'après la lecture de cet ouvrage, on se rendra facilement compte de l'état de la vie du globe : tout ce qui se passe autour de nous est intéressant, lorsque, au lieu de rester comme des aveugles-nés, on a appris à apprécier les choses, à se tenir en communication intelligente avec la Nature.

Il m'eût été agréable d'éloigner de cet ouvrage destiné aux gens du monde les chiffres et les procédés scientifiques qui en constituent la base. Je l'ai fait autant que je l'ai pu; mais je n'ai rien voulu sacrifier à l'exactitude et à la précision des faits observés. Il m'a semblé d'ailleurs que ce qu'on appelle le public, c'est-à-dire tout le monde, est devenu quelque peu scientifique lui-même, depuis que tant de belles publications ont répandu dans ses rangs des notions jusqu'alors réservées à un petit nombre d'élus. Les événements de ces dernières années, 1870 et 1871, n'ont pu avoir pour résultat de nous rendre moins sérieux. Nous ne sommes plus aussi frivoles qu'au temps où nous nous passionnions pour des romans, des comédies, ou des contes de fées, et nous paraissons mieux disposés que jamais à employer utilement le temps que nous pouvons consacrer à la lecture, à meubler notre es-

toire de Paris, M. Delaunay, et à son laborieux collègue, M. Marié-Davy, directeur du service météorologique; d'autre part à M. Ch. Sainte-Claire-Deville, président de la commission de l'Observatoire de Montsouris, et à M. Renou, le plus scrupuleux des météorologistes, pour l'aide bienveillante qu'ils m'ont apportée dans certaines recherches de ce long travail. Je remercierai aussi particulièrement M. Quételet, le vénérable directeur de l'Observatoire de Bruxelles, et M. Glaisher, directeur du service météorologique de l'Observatoire royal d'Angleterre, pour les documents précieux qu'ils m'ont adressés. Tous les ouvrages que j'ai consultés d'ailleurs, et par lesquels j'ai complété mes études météorologiques pour mener à bonne fin la rédaction du présent travail, sont l'objet d'une note spéciale que l'on trouvera à la fin du volume.

Et maintenant, mon cher lecteur, sans nous attarder davantage au vestibule du sanctuaire, pénétrons dans ce monde mystérieux des météores. Voici l'*Atmosphère*, l'air lumineux, la première divinité aimée et redoutée sur la Terre, le DYAUS du Sanscrit, le *Zeus* des Grecs, le Θεος d'Athènes, le *Dies* et le *Deus* des Latins. C'est le père des dieux eux-mêmes, le *Zeus-pater*, ou Jupiter ! C'est l'AIR, en qui tout vit et tout respire, et dans lequel les mythologies saluaient l'Esprit créateur invisible qui régit l'univers. Il est en effet la manifestation la plus voisine de nous, et la plus sensible, des lois éternelles qui organisent le Cosmos. Il enveloppe le monde d'un vivifiant fluide ; il annonce le jour et reconduit le soir ; il porte les nuages et distribue les pluies ; il caresse la violette et déracine le chêne ; il féconde ou stérilise ; il brûle ou gèle ; il mêle le feu du tonnerre avec la grêle glacée ; il fixe l'eau aux sommets des montagnes ; il donne le printemps et

l'hiver; il règne enfin sur nous, avec son caractère changeant et variable, tantôt gai, tantôt triste, calme ici, furieux là, agissant partout de mille manières, et finalement, entretenant depuis le commencement des temps, la vie brillante et multipliée qui rayonne à la surface de la Terre.

Paris, novembre 1871.

LIVRE PREMIER

NOTRE PLANÈTE ET SON FLUIDE VITAL

s'accomplissent les révolutions des planètes, lesquelles s'effectuent avec une vitesse indescriptible, en raison de la longueur des circonférences à parcourir. Loin d'être immobile comme il nous le semble, le globe que nous habitons voyage, à la distance moyenne de 37 millions de lieues du Soleil, au sein de l'immensité éthérée, et sur une orbite qui ne mesure pas moins de 235 millions de lieues à parcourir en 365 jours 6 heures ! C'est-à-dire qu'il court en tourbillonnant dans l'espace, avec une vitesse de 660 000 lieues par jour, de 27 500 lieues à l'heure...,

Le train express le plus rapide, emporté par l'ardeur dévorante de la vapeur aux ailes de feu, ne peut parcourir, au maximum, plus de cent kilomètres à l'heure, c'est-à-dire 25 lieues. Sur les routes invisibles du ciel, la Terre vogue avec une vitesse 1100 fois plus rapide. La différence est telle, qu'on ne saurait l'exprimer géométriquement ici par une figure. Si l'on réprésentait par 1 millimètre seulement la longueur parcourue en une heure par la locomotive Crampton, il faudrait tracer à côté une ligne de 1 mètre 10 centimètres pour représenter le chemin comparatif parcouru par notre planète pendant le même temps. Nulle machine en mouvement ne saurait donc suivre ce globe dans son cours. J'ajouterai comme point de comparaison, que la marche d'une tortue est environ 1100 fois moins rapide que celle d'un train express. Si donc l'on pouvait envoyer un train express courir après la Terre, c'est exactement comme si l'on envoyait une tortue courir après un train express.

Situés comme nous le sommes autour du globe, mollusques infiniment petits, collés à sa surface par son attraction centrale, et emportés par son mouvement, nous ne pouvons apprécier ce mouvement ni nous en rendre compte directement. Ce n'est que par l'observation du déplacement correspondant des perspectives célestes, et par le calcul, que nous avons pu, depuis quelques siècles à peine du reste, en connaître la nature, la forme et la valeur. Sous le pont d'un navire, dans un compartiment de wagon, ou dans la nacelle d'un aérostat, nous ne pouvons pas davantage nous rendre compte du mouvement qui nous emporte, parce que nous participons à ce mouvement, et qu'en fait nous sommes immobiles dans le salon du navire en marche ou du convoi rapide, aussi bien que sous l'aérostat, immobile lui-même relativement aux molécules d'air environnantes. Sans objets de comparaison étrangers au mouvement, il nous est impossible de l'apprécier. Pour nous former une idée de la puissance indescriptible qui emporte in-



le télescope à notre curiosité studieuse, nous saluons les humanités nos sœurs, vivant comme nous à la surface des mondes! Sublime couronnement de l'astronomie mathématique et physique, le nouvel aspect philosophique de la création développe devant nos esprits le règne universel de la vie et de la pensée; le globe terrestre avec son humanité n'est plus qu'un atome jeté au sein de l'infini, un des rouages innombrables qui par myriades constituent le mystérieux mécanisme du monde physique et moral. Notre système planétaire, malgré son immensité comparative auprès du microscopique volume de cette terre, s'évanouit lui-même avec son radieux soleil devant l'étendue et le nombre des étoiles, — centres solaires de systèmes différents du nôtre. L'œil étonné rencontre dans l'infini, des soleils lointains dont la lumière emploie des centaines et des milliers d'années à venir jusqu'à nous, malgré sa vitesse inouïe de 77 000 lieues par seconde; plus loin, l'œil contemple de pâles amas d'étoiles qui, vus de près, seraient semblables à notre Voie lactée et se montreraient composés de plusieurs millions de soleils et de systèmes; au delà, l'œil et la pensée cherchent encore à découvrir ces créations lointaines, où résident des existences inconnues, où s'accomplissent au même titre qu'ici les mystérieuses destinées des êtres;... mais l'essor de nos conceptions fatiguées ne tarde pas à s'abattre, exténué, perdu par ce vol interminable dans les régions de l'infini, et comme l'aigle posé sur une île lointaine, notre âme éblouie s'étonne de n'avoir jamais devant elle que le vestibule d'une immensité sans cesse renaissante.

Astre invisible, perdu dans les myriades d'astres qui gravitent à toutes les distances imaginables dans l'étendue profonde, la Terre est emportée dans le ciel par divers mouvements, beaucoup plus nombreux et plus singuliers que nous ne sommes généralement portés à le croire. Le plus important est celui de *translation*, qui vient de s'offrir à nos regards, mouvement en vertu duquel elle vogue autour du Soleil en raison de 660 000 lieues par jour. — Un second mouvement, celui de *rotation*, la fait tourner sur elle-même, pirouetter en quelque sorte, en 24 heures : on voit immédiatement, en examinant ce mouvement du globe sur lui-même, que les différents points de la surface terrestre ont une vitesse différente suivant leur distance à l'axe de rotation. A l'équateur, où la vitesse est maximum, la surface terrestre est forcée de parcourir 10 000 lieues en 24 heures (le mètre est la dix-millionième partie du quart du grand cercle, égal par conséquent à 40 000 kilomètres),



Ces mouvements différents qui emportent l'astre-Terre dans l'espace sont connus, grâce au nombre colossal d'observations faites sur les étoiles depuis plus de quatre mille ans, et grâce à la rigueur des principes modernes de la mécanique céleste. Leur connaissance constitue la base essentielle de la plus haute et de la plus solide des sciences. La Terre est désormais inscrite au rang des astres, malgré le témoignage des sens, malgré des illusions et des erreurs séculaires, et surtout malgré la vanité humaine qui longtemps s'était formé avec complaisance une création à son image. Sollicitée par tous ces mouvements divers, dont quelques-uns, comme celui des perturbations, sont d'une complication extrême, le globe terrestre vogue dans le vide, tourbillonnant, se balançant sous des inflexions variées, saluant les planètes ses sœurs, courant avec une vitesse insaisissable vers un but qu'il ignore. Depuis le commencement du monde, la Terre n'est pas passée deux fois au même endroit, et le lieu que nous occupons à cette heure même s'enfonce avec rapidité derrière notre sillage pour ne plus revenir. La surface terrestre elle-même, du reste, se modifie chaque siècle, chaque année, chaque jour, et les conditions de la vie changent à travers l'éternité comme à travers l'espace. C'est ainsi que la marche du monde effectue son cours mystérieux, et que les êtres comme les choses ne continuent d'exister qu'en subissant de perpétuelles métamorphoses.

Après avoir apprécié de la sorte le mouvement de l'astre-Terre dans l'espace, nous devons lui adjoindre, pour compléter sa physionomie astronomique, le mouvement que la Lune décrit en 29 jours et demi autour du centre terrestre. La Lune est 49 fois plus petite que la Terre et 81 fois moins lourde. Son action sur l'océan et sur l'Atmosphère est cependant comparable à celle du Soleil, et même plus importante dans la production des marées; il n'est pas moins utile de connaître son mouvement que celui de la planète terrestre autour du foyer radieux. C'est en 27 jours 7 heures que s'effectue sa translation circulaire autour de la Terre; mais pendant ces 27 jours la Terre n'est pas restée immobile et s'est au contraire avancée d'une certaine quantité dans l'espace; la Lune emploie environ deux jours de plus pour achever sa révolution et revenir au même point relativement au Soleil : ce qui donne 29 jours 12 heures pour la lunaison ou le cycle des phases. La révolution en 27 jours est nommée révolution *sidérale*, parce que l'astre revient sur la sphère céleste à une même position par rapport aux étoiles; on voit que pour revenir à la même position relative-

CHAPITRE II.

L'ENVELOPPE ATMOSPHÉRIQUE.

Le globe que nous venons de contempler circulant dans l'espace sur l'aile de la gravitation universelle, est enveloppé d'un duvet gazeux adhérent à sa surface sphérique tout entière. Cette couche fluidique est uniformément répandue autour du globe, et l'environne de toutes parts. Nous avons comparé la Terre dans l'espace à un boulet de canon lancé dans le vide; en supposant ce boulet enveloppé d'une mince couche de vapeur, qui ne mesurerait même pas un millimètre d'épaisseur, et serait adhérente à sa surface entière, nous nous formerons une image approchée de la situation de l'Atmosphère tout autour du globe terrestre. C'est précisément de cette situation que dérive le nom même de l'Atmosphère ('Ατμός, vapeur; Σφαῖρα, sphère); c'est en effet comme une seconde sphère de vapeur, concentrique à la sphère solide du globe terrestre.

On ne songe pas assez, en général, à la valeur, à l'importance de cette enveloppe atmosphérique. C'est elle qui nous fait vivre. C'est par elle que la Terre entière respire. Plantes, animaux, hommes, puisent en elle leur première condition d'existence. L'organisation terrestre est ainsi construite, que l'Atmosphère est la souveraine de toutes choses, et que le savant peut dire d'elle ce que le théologien disait de Dieu lui-même : En elle nous vivons, nous nous mouvons et nous sommes. Condition suprême des existences terrestres, elle ne constitue pas seulement la force virtuelle de la Terre, mais elle en est encore la parure et le parfum. Comme une caresse éternelle enveloppant notre planète voyageuse dans une affection inaltérable, elle porte doucement la Terre dans

nez ces premières pages, n'étaient pas tous hier intégrés à votre personne, et aucun n'y était il y a quelques mois. Où étaient-ils? — soit dans l'air, soit dans un autre corps. Tous les atomes qui forment maintenant vos tissus organiques, vos poumons, vos yeux, votre cerveau, vos jambes, etc., ont déjà servi à former d'autres tissus organiques.... Nous sommes tous des morts ressuscités, fabriqués de la poussière de nos ancêtres. Si tous les hommes qui ont vécu jusqu'à cette année ressuscitaient, il y en aurait cinq par pied carré, sur toute la surface des continents, obligés, pour se tenir, de monter sur les épaules les uns des autres; mais ils ne pourraient ressusciter tous intégralement, car ils sont à peu près formés des mêmes matériaux ayant successivement servi. De même nos organes actuels, divisés un jour en leurs dernières particules, se trouveront incorporés dans nos successeurs, et je sais que ma main droite qui écrit en ce moment cette ligne, sera dans une époque prochaine absolument dissoute, et que les éléments qui la constituent fleuriront dans la plante, voleront dans l'oiseau, agiront dans un nouvel homme. Véhicule sans cesse renouvelé des émigrations des atomes terrestres, l'air établit ainsi une fraternité universelle et indissoluble entre tous les hommes, entre tous les êtres.

Métamorphose incessante des êtres et des choses : entre les produits de la nature et les flots mobiles de l'Atmosphère, il s'opère incessamment un échange, en vertu duquel les gaz de l'air se fixent dans l'animal, la plante ou la pierre, tandis que les éléments primitifs, un instant incorporés dans un organisme ou dans les couches terrestres, se dégagent et recomposent le fluide aérien. Chaque atome d'air passe donc éternellement de vie en vie et s'en échappe de mort en mort; tour à tour vent, flot, terre, animal ou fleur, il est successivement employé à la substance de mille êtres divers. Source inépuisable, où tout ce qui vit prend son haleine, l'air est encore un réservoir immense, où tout ce qui meurt verse son dernier souffle : sous son action, végétaux et animaux, organismes divers naissent, puis dépérissent. La vie, la mort sont également dans l'air que nous respirons, et se succèdent perpétuellement l'une à l'autre par l'échange des molécules gazeuses; l'atome d'oxygène qui s'exhale de ce vieux chêne va s'envoler aux poumons de l'enfant au berceau; les derniers soupirs d'un mourant vont tisser la brillante corolle de la fleur, et se répandre comme un sourire sur la verdoyante prairie. La brise qui caresse doucement les tiges des herbes va plus loin se transformer en tempête, déraciner les arbres séculaires et faire sombrer les navires; et ainsi, par

L'ATMOSPHÈRE

LES PLANCHES CHROMOLITHOGRAPHIQUES

de cet ouvrage ont été exécutées d'après les peintures et les aquarelles

DE MM. ACHARD, BERCHÈRE, E. CICÉRI, KARL GIRARDET, A. MARIE, SILBERMANN ET WEBER

LES GRAVURES SUR BOIS

ont été dessinées par MM. BAYARD, H. CLERGET, A. MARIE, A. DE NEUVILLE,

N. RAPINE, P. TELLIER, TOURNOIS, ETC.

11339 — Typographie Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris.



LA TERRE DANS L'ESPACE.

mince et légère. Des auditeurs de cours d'astronomie et de conférences m'ont souvent confié qu'à leur idée, avant d'être éclairés sur ce point, la Terre s'appuyait sur l'air remplissant l'espace, était portée par lui. Il n'en est rien. C'est l'Atmosphère, au contraire, qui est supportée par le globe. Le globe est soutenu dans l'immensité par la puissance invisible de la gravitation universelle.

La surface extérieure de l'Atmosphère est donc courbe, comme celle de la mer; car de même que l'eau, l'air tend sans cesse à être de niveau, à égale distance du centre. Aux yeux des commençants dans la science de la géométrie, il paraît difficile de concilier l'idée de la surface *sphérique* de l'océan avec ce qu'on appelle communément *niveau;* l'idée que l'air a un niveau horizontal comme l'eau, et que, semblable à un océan aérien, ce niveau tend sans cesse à s'équilibrer, semble d'abord un peu obscure. Cependant, non-seulement l'air possède toutes les propriétés d'élasticité et de mobilité, à un degré illimité, comme fluide tendant vers l'équilibre, mais différent de l'eau ou de la plupart des liquides, il est au plus haut degré compressible, et proportionnellement susceptible d'une extrême expansion. — Ce sont là des faits qu'il faut avoir constamment présents à l'esprit, car ils aideront à l'intelligence d'un grand nombre de conditions atmosphériques spécifiées dans les chapitres suivants.

Maintenant, quelle est l'épaisseur de cette couche gazeuse qui enveloppe notre globe de 3000 lieues de diamètre? C'est ce que nous allons examiner dans le chapitre suivant.

Pour connaître la hauteur à laquelle s'étend l'Atmosphère, il faudrait pouvoir calculer la densité de l'air à diverses hauteurs, abstraction faite des agitations accidentelles, et dans l'état moyen autour duquel oscillent ces perturbations. On y parvient quand on connaît la température de l'air, sa pression et la tension de la vapeur d'eau contenue. Il faudrait encore, pour avoir une valeur exacte, tenir compte : 1° de la diminution de la pesanteur à mesure que l'on s'élève dans l'air, et en vertu de laquelle les particules sont attirées vers la planète; 2° de la variation de la force centrifuge suivant la latitude; mais ces deux variations, à la vérité, sont très-faibles, et affectent peu les valeurs cherchées, attendu la très-petite épaisseur de la couche d'air relativement au rayon du globe terrestre. On voit par là que l'on ne peut tirer que des conclusions bornées de l'équation d'équilibre des couches atmosphériques, déduite des lois connues, quand on veut l'appliquer à la détermination de la hauteur de l'Atmosphère.

Cette hauteur est limitée, et nous verrons même qu'elle est peu considérable. Si l'air n'avait pas d'élasticité, sa limite serait située aux points où la force centrifuge ferait équilibre à la pesanteur; mais comme cette condition n'existe pas, il est nécessaire que son élasticité soit équilibrée par une force quelconque; cette force est le poids des couches d'air qui sont supérieures à celles que l'on considère. Mais à mesure que l'on s'élève, l'air devient plus rare, et arrivé aux dernières couches, rien ne presse sur celles-ci; cependant l'Atmosphère étant limitée, comme le démontrent plusieurs faits dont nous parlerons, il est nécessaire que ces couches ne se perdent pas dans l'espace, et que, vu leur raréfaction et leur grand abaissement de température, leur état physique soit modifié de telle sorte que la force élastique soit nulle. Laplace a indiqué cette condition indispensable; Poisson l'a spécifiée, en montrant que l'équilibre serait encore possible avec une densité limite très-considérable, pourvu que le fluide ne fût pas expansible; enfin J. B. Biot, qui a résumé ces conditions, indique très-bien cet état des dernières couches atmosphériques non expansibles, en disant qu'elles doivent être comme un « liquide non évaporable. » — Nous allons maintenant, dans le chapitre suivant, examiner les conditions mécaniques et physiques de cette enveloppe aérienne, apprécier sa forme extérieure et mesurer sa hauteur.

CHAPITRE III

HAUTEUR DE L'ATMOSPHÈRE.

FORME DE L'ENVELOPPE AÉRIENNE AUTOUR DE LA TERRE. SES CONDITIONS; SON ORIGINE.

Puisque la Terre, astre rapide, vogue dans l'immensité, emportée par une vitesse vertigineuse, et entraîne adhérente à sa surface la couche gazeuse qui l'enveloppe, il en résulte que cette couche gazeuse ne s'étend pas à l'infini dans l'immensité, mais cesse d'exister à une certaine distance de la surface.

Jusqu'à quelle distance peut-elle s'étendre? La rotation du globe l'entraînant dans son mouvement diurne, nous pouvons remarquer d'abord qu'à une certaine hauteur au-dessus du sol, le mouvement de l'atmosphère est si rapide que la force centrifuge déployée par lui jetterait dans l'espace les molécules d'air extérieures, qui cesseraient d'être adhérentes et de continuer l'atmosphère par cela même.

Certains inventeurs de procédés de navigation aérienne s'étaient vaguement imaginé que l'atmosphère ne tourne pas entièrement avec la Terre, qu'en s'élevant à une certaine hauteur, on verrait le globe rouler sous soi, et que l'on n'aurait qu'à attendre que le méridien où l'on veut descendre passe sous la nacelle pour s'y trouver transporté par la rotation du globe.

Exposer cette hypothèse, c'est la réfuter. Tout ce qui environne la Terre lui est soumis. La Lune elle-même, à 96 000 lieues de distance, circule autour de nous dans le sens de notre propre rotation, mais avec une vitesse moindre en raison de son existence individuelle, de son poids relatif et de sa distance.

La force centrifuge s'accroît en raison du carré de la vitesse. A

l'équateur elle est le 289e de la pesanteur. Or, remarque curieuse, si la Terre tournait 17 fois plus vite, comme $17 \times 17 = 289$, les corps ne pèseraient plus à l'équateur! un objet, une pierre, détaché du sol par la main n'y retomberait plus. On serait si léger, qu'en dansant à la surface on serait semblable à des sylphes aériens déplacés par le vent. Les circonférences étant entre elles comme les rayons, à 17 fois la distance d'ici au centre de la Terre, à 25 500 lieues de hauteur, toutes choses restant égales d'ailleurs, l'Atmosphère cesserait de se tenir. Mais d'autre part la pesanteur diminue à mesure qu'on s'éloigne du centre d'attraction.

En combinant cette diminution avec l'accroissement de la force centrifuge, j'ai calculé que c'est à 6 fois et demie environ (6,64) le rayon du globe, c'est-à-dire à 10 000 lieues au-dessus de la surface de la terre, que l'attraction égale la pesanteur, et que par conséquent les molécules aériennes qui pourraient encore se trouver dans ces espaces doivent forcément s'échapper. C'est la distance à laquelle graviterait un satellite précisément en $23^h 56^m$, durée de la rotation de notre planète. C'est la *limite théorique maximum* de l'Atmosphère. Celle-ci est bien loin de s'étendre jusque-là, comme nous allons le voir; mais mathématiquement elle le pourrait, et ce n'est qu'à cette énorme distance que la force centrifuge serait assez grande pour s'opposer à l'existence d'une atmosphère.

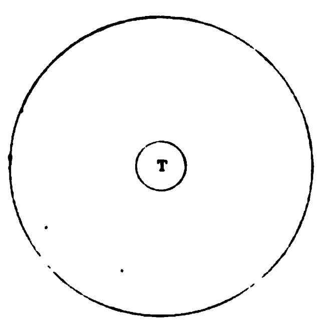


Fig. 1. — Limite théorique maximum de l'Atmosphère.

Peut-être, dans ces régions élevées, aux limites même des sphères d'attraction des astres, s'opère-t-il un échange de leurs molécules gazeuses. Telle est la limite extrême maximum de l'Atmosphère; mais c'est à une hauteur incomparablement moindre que s'arrête le fluide respirable pour l'homme. Ainsi à la hauteur de 3300 mètres que j'ai souvent atteinte en ballon (c'est la hauteur de l'Etna), on a sous les pieds près du tiers de la masse aérienne; à 5500 mètres, hauteur au-dessus de laquelle un grand nombre de montagnes élèvent encore leurs cimes, la colonne d'air qui pèse sur le sol a déjà perdu la moitié de son poids; par conséquent toute la masse gazeuse qui s'étend au loin dans le ciel, jusqu'à des distances immesurées, est simplement égale aux couches aériennes comprimées au-dessous dans les régions inférieures.

En vertu de ces forces, la forme de l'Atmosphère n'est pas abso-

lument spherique, mais gonflée à l'équateur, où elle est plus élevée qu'aux pôles. La figure de l'atmosphère des corps célestes est telle que la résultante de la force centrifuge et de la force attractive lui est perpendiculaire. La limite maximum de cette figure, dans le cas où l'aplatissement est le plus grand, a été donnée par Laplace : le diamètre de l'Atmosphère dans le sens de l'équateur est un tiers plus grand que le diamètre dans le sens des pôles. C'est la *limite mathématique* vers laquelle tend l'atmosphère terrestre. Mais elle n'a pas cette forme exagérée, quoique en réalité elle soit sensiblement plus épaisse à l'équateur qu'aux pôles. Pour compléter cette figure, j'ajouterai encore qu'il est probable qu'une petite traînée de gaz légers reste constamment en arrière du globe dans sa translation rapide autour du Soleil. Enfin ces formes changent encore par des marées atmosphériques, dues à l'attraction variable de la Lune et du Soleil.

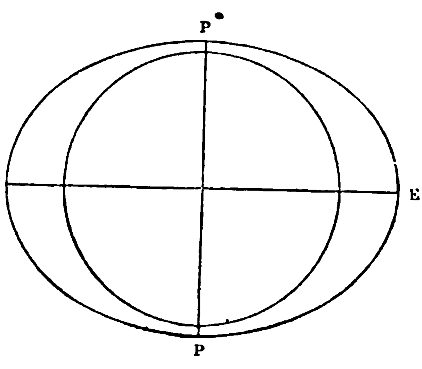


Fig. 2. — Limite mathématique de la figure de l'Atmosphère.

Le poids décroissant des couches atmosphériques nous offre le premier procédé pour calculer une limite minimum de la hauteur de l'Atmosphère; de même que tout à l'heure la mécanique vient de nous présenter une limite maximum, ici c'est la physique qui va nous servir.

Chaque molécule de l'air exerce, en vertu de son poids, une pression sur les molécules situées au-dessous d'elle; de haut en bas cette pression s'ajoute au poids de chaque couche successive et contribue, en se combinant avec l'action du globe terrestre, à les retenir autour de lui. Dans une colonne d'air verticale, on trouve près du sol les couches les plus denses; cette densité diminue à mesure qu'on s'élève, parce que la portion d'atmosphère placée audessous de l'observateur n'exerce plus aucune pression sur celles qui sont placées à son niveau. Le baromètre qui mesure cette pression se tient plus bas au sommet qu'au pied d'une montagne; et le rapport qui existe entre la pression et la hauteur est tellement intime, qu'on peut déduire la différence de niveau de deux points, de la différence de longueur des colonnes barométriques observées simultanément à ces deux stations.

Plus la pression diminue et plus l'air tend à se dilater; aussi semblerait-il au premier abord que l'Atmosphère doive s'étendre à une très-grande distance.

Un physicien célèbre, Mariotte, a cherché à déterminer la loi de la compression des gaz, et il a trouvé que la quantité d'air contenue dans le même volume, ou, en d'autres termes, la densité de l'air est proportionnelle à la pression supportée. Cette propriété est enseignée dans les cours de physique sous le nom de *loi de Mariotte*. Jusqu'en ces dernières années, on l'a considérée comme parfaitement exacte; mais alors on trouvait d'énormes difficultés à concevoir comment il se fait que l'atmosphère terrestre ne s'étende pas très-loin dans l'espace, tandis que d'autres considérations indiquent qu'elle est nécessairement limitée et cesse à une petite distance au-dessus du sol.

Mais cette contradiction apparente était le résultat d'une trop grande généralisation de la loi de Mariotte qui est simplement approchée au lieu d'être rigoureuse. M. Regnault a étudié les différences réelles qui existent entre la loi théorique et les faits.

Depuis cette constatation, notre ancien collègue de l'Observatoire de Paris, M. Liais, en introduisant de très-petites bulles d'air dans un grand vide barométrique, d'une forme spéciale, a reconnu que les différences entre les données de l'observation et la théorie usuellement adoptée sont beaucoup plus grandes encore. En diminuant suffisamment la quantité d'air on parvient même à trouver une limite où les particules, loin de se repousser, comme cela aurait lieu si les gaz étaient dilatables à l'infini, semblent au contraire avoir entre elles une adhérence semblable à celle des molécules d'un liquide visqueux. L'élasticité de l'air produisant l'expansion cesse donc à un certain degré de dilatation, à partir duquel ce gaz se comporte comme un liquide, mais un liquide incomparablement plus léger que tous ceux que nous connaissons.

En vertu de cette décroissance observée de la densité de l'air avec la hauteur, en examinant à ce point de vue spécial les conditions physiques de l'équilibre, et en prenant pour élément trois séries d'observations barométriques, thermométriques et hygrométriques faites à des altitudes différentes par Gay-Lussac, Humboldt et Boussingault, J. B. Biot a démontré que la hauteur minimum de l'Atmosphère est de 47 800 mètres, ou environ 12 lieues. Là, l'air doit être aussi rare que sous le récipient de nos machines pneumatiques où l'on a fait le vide, — vide relatif, puisque nous ne pouvons obtenir le vide absolu.

Ainsi, la hauteur minimum de l'Atmosphère est de 12 lieues, et la hauteur maximum est 10 000. Voilà deux limites certaines, mais bien écartées l'une de l'autre. N'existe-t-il pas d'autres méthodes d'approcher davantage de la réalité?

En effet, on a essayé de mesurer optiquement la hauteur de l'Atmosphère, en étudiant la durée des crépuscules, le temps que les rayons solaires continuent à atteindre les régions aériennes lorsque l'astre lui-même est descendu sous l'horizon.

Si l'atmosphère terrestre était illimitée, le phénomène de la nuit nous serait complétement inconnu : la lumière du Soleil en atteignant à des couches d'air suffisamment éloignées de la Terre, pourrait toujours nous être renvoyée par la réflexion que ces couches lui feraient subir. D'un autre côté, l'absence de toute enveloppe aérienne aurait pour résultat de nous donner une nuit succédant brusquement au coucher du soleil, et la lumière du jour se déployant à l'instant même du lever. Or, tout le monde sait que le crépuscule du soir et l'aurore du matin allongent la durée du temps pendant lequel on est éclairé par la lumière solaire. On conçoit que l'observation de ces phénomènes a dû faire naître de bonne heure l'idée d'y chercher la mesure de la hauteur de l'Atmosphère.

Supposons que la Terre soit figurée par le cercle de rayon OA, que son atmosphère soit limitée par la circonférence FGHIC. Il est évident que lorsque le Soleil sera descendu au-dessous de l'horizon FACB du lieu A, il n'éclairera plus qu'une portion de l'Atmosphère. Ainsi quand le Soleil sera en J, si on imagine un cône tangent à la Terre et ayant le Soleil pour sommet, toutes les parties de l'Atmosphère située au-dessous de JG cesseront d'être éclairées pour l'observateur placé en A, et la partie CIHG seule le sera encore. Plus tard, quand le Soleil sera en J', il n'y aura plus d'éclairée que la partie CIH; plus tard encore, que la partie CI; enfin, quand le Soleil sera en J''', sur la partie tan-

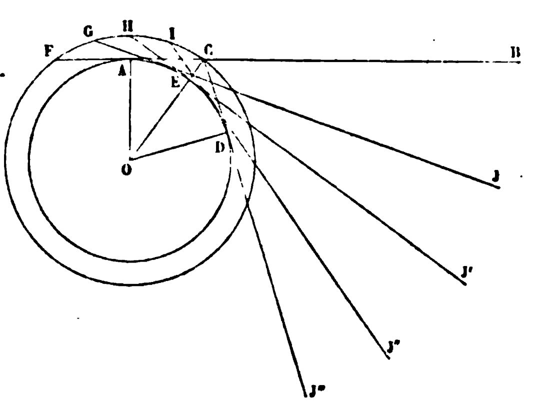


Fig. 3. — Mesure de la hauteur de l'Atmosphère par la durée du crépuscule.

gentielle menée par l'intersection de l'horizon FACB avec la circonférence limitée de l'Atmosphère, le crépuscule cessera. Dès que le Soleil est couché on doit donc voir une sorte d'arc apparaître du côté opposé, s'élever de plus en plus, atteindre le zénith, puis s'abaisser et enfin disparaître. Les phénomènes se passeraient d'une manière inverse pour l'aurore ou crépuscule du matin. Telle est la théorie que les plus anciens astronomes avaient conçue des phénomènes crépusculaires. On trouve dans l'optique d'Alhasen (xe siècle) que l'angle d'abaissement du Soleil pour la fin du crépuscule ou le commencement de l'aurore est de 18°, et c'est encore cette valeur que les astronomes modernes adoptent comme moyenne.

Dans nos climats on aperçoit difficilement avec netteté la limite de séparation entre la partie de l'atmosphère éclairée par le Soleil et celle qui ne reçoit pas ses rayons directs. Mais Lacaille, dans son voyage au cap de Bonne-Espérance, a constaté toutes les phases que nous venons d'indiquer d'après la théorie. « Les 16 et 17 avril 1751, dit-il, étant en mer et en calme, par un ciel extrêmement clair et serein, où je distinguais Vénus à l'horizon comme une étoile de seconde grandeur, je vis la lumière crépusculaire terminée en arc de cercle, aussi régulièrement que possible. Ayant réglé ma montre à l'heure vraie, au coucher du Soleil, je vis cet arc confondu avec l'horizon; et je calculai, par l'heure, où je fis cette observation, que le Soleil était abaissé le 16 avril, de 16°38′; le 17, de 17°13′. ».

D'autres observations ont été faites depuis, comme nous le verrons plus loin.

On comprend que connaissant le cercle diurne apparent décrit par le Soleil un jour donné et la position de l'observateur sur la Terre, on puisse calculer, par le temps écoulé, entre l'heure du coucher et celle de la disparition de l'arc crépusculaire, l'angle parcouru par l'astre radieux au-dessous de l'horizon. On comprend aussi que suivant les saisons et suivant les lieux, on trouve une durée différente pour le crépuscule ou l'aurore, puisque l'éloignement plus ou moins grand du Soleil et l'état de l'air doivent influer sur la direction et sur la quantité de lumière qui, après des réflexions et des réfractions multiples, arrive à chaque observateur.

Nous étudierons dans notre deuxième Livre les effets optiques du crépuscule; ici nous n'avons à nous occuper que du rapport qui existe entre sa durée et la hauteur de l'Atmosphère.

Or le temps pendant lequel le Soleil, après être descendu au-des-

sous de l'horizon d'un lieu, continue à éclairer directement une partie de l'Atmosphère visible de ce lieu, dépend de l'épaisseur des couches aériennes qui enveloppent la Terre. En effet, imaginons que nous fassions passer un plan par le lieu A, de la figure que nous venons de tracer, par le centre O de la Terre, et par le centre du Soleil, ce plan coupera la Terre suivant le cercle OA. Soit FAB la trace de l'horizon du lieu A dans ce même plan; par la rencontre C du cercle OA et de la ligne AB, menons la tangente CD à la Terre. Toute la partie de l'atmosphère visible en A cessera d'être éclairée par le soleil lorsque l'astre radieux, dans son mouvement diurne apparent, sera descendu au-dessous de CDJ'''. Or, nous venons de voir que l'on concluait de la durée du crépuscule qu'il se terminait lorsque l'angle BCJ''' d'abaissement au-dessous de l'horizon était de 18°. Comme l'angle OAC est droit et que OA est le rayon de la terre, on connaît un côté et les angles du triangle OAC, et par conséquent, on peut en calculer tous les éléments. On peut donc regarder OC comme connu, et de là il résulte qu'on a la hauteur EC de l'atmosphère, différence entre OC et OE = OA.

Telle est la méthode imaginée par Képler pour conclure des phénomènes crépusculaires la hauteur de l'Atmosphère. Les résultats qu'elle a fournis concordent avec les précédents pour donner à notre atmosphère, homogène mais de densité décroissante, une hauteur de 12 à 15 lieues. Le rayon moyen de la Terre étant de 1591 lieues, on voit que cette hauteur n'est que la 130e partie de ce rayon, c'est-à-dire que si l'on représentait la Terre par une sphère de 10 mètres de diamètre, l'atmosphère serait comparable à une couche de vapeur adhérente à la surface de ce globe, ayant une épaisseur de 38 millimètres.

Fig. 4. — Coupe montrant l'épaisseur relative de l'écorce terrestre, de notre atmosphère et d'une atmosphère supérieure.

Notre figure 4 représente exactement ce rapport. Elle montre : 1° l'intérieur incandescent du globe *a*; 2° l'écorce solide *b* sur laquelle nous vivons et édifions nos cités et nos dynasties : elle n'a que 12 lieues d'épaisseur, également, attendu qu'en raison de l'accroissement observé de température, de 1 degré par 33 mètres, les minéraux sont en fusion à cette profondeur; 3° l'épaisseur de la couche aérienne sous laquelle nous respirons, *c*; 4° la hauteur

probable d'une atmosphère très-légère *d*, superposée à la nôtre, dont nous allons parler.

J'ajouterai cependant encore, à propos de la mesure de la hauteur de l'Atmosphère par la durée du crépuscule, que certains observateurs ont eu pour résultat de la même recherche une élévation bien supérieure à la précédente, et qui montre bien que les 12 lieues ne représentent véritablement qu'un minimum. M. Emmanuel Liais a calculé directement cette hauteur par l'observation de la durée du crépuscule et de la courbe crépusculaire qui colore le ciel de cette ravissante teinte rose si remarquable surtout dans les pays du sud. Ces études ont été faites d'une part sur l'Atlantique dans une traversée de France à Rio de Janeiro, d'autre part dans la baie de cette capitale. Elles ont donné pour minimum 290 kilomètres et pour hauteur probable 330.

En étudiant au sommet du Faulhorn la marche des arcs crépusculaires, Bravais a obtenu une hauteur de 115 kilomètres.

La hauteur varie d'ailleurs avec la température et les saisons, et reste constamment plus forte à l'équateur. Une autre méthode, différente encore des précédentes, a été de mesurer l'épaisseur de la pénombre qui entoure l'ombre de la Terre, dessinée sur la Lune pendant les éclipses de Lune, ainsi que les phénomènes de réfraction qui se produisent. Cette mesure donne de 80 à 100 kilomètres pour l'épaisseur de l'atmosphère terrestre dont l'influence se fait sentir sous cet aspect spécial, ou de 20 à 25 lieues.

Les observations qui donnent à l'atmosphère terrestre une hauteur bien supérieure aux 15 lieues théoriques ont été depuis quelques années l'objet d'une discussion spéciale. Notre savant maître et ami Adolphe Quételet, directeur de l'Observatoire de Bruxelles, a conclu d'un très-grand nombre de recherches à cet égard, qu'en effet elle s'étend beaucoup plus haut qu'on le pensait; mais non plus exactement la même atmosphère qu'ici-bas.

Cette addition serait due à une atmosphère *éthérée*, extrêmement rare et d'une nature différente de celle de l'atmosphère *terrestre* dans laquelle nous vivons. C'est la région où l'on voit spécialement les étoiles filantes, qui disparaissent ensuite en passant plus bas dans l'atmosphère terrestre.

L'atmosphère supérieure serait *stable;* l'inférieure *instable* et sans cesse agitée. Les mouvements spéciaux, causés par l'action des vents et des tempêtes, seraient limités dans leur hauteur par l'effet des saisons. Ainsi, pour nos climats, la partie agitée, dans le voisinage de la terre, n'aurait que 3 à 4 lieues d'élévation en

hiver, et sa hauteur serait double à peu près en été. Toute la partie de l'atmosphère qui lui est supérieure, n'éprouverait qu'un mouvement très-affaibli et à peine sensible, provenant de la base mobile sur laquelle elle repose.

Les bouleversements continuels qui se forment dans les régions inférieures font que l'air qu'on y recueille est sensiblement le même, quant à la composition chimique : on ne trouve point de différence aux diverses hauteurs où l'on peut s'élever pour y prendre l'air et le soumettre à l'analyse.

Dans la couche immobile, placée plus haut, où les êtres vivants n'ont pas accès, et où les nuages ne s'élèvent pas, on pourrait admettre au contraire que les milieux s'y étendent avec facilité dans l'ordre de leurs densités et qu'ils s'y développent par couches uniformes, soit en se mêlant, soit en se tenant séparés. Il n'est pas nécessaire de supposer chaque couche composée comme celle qui lui est inférieure : elle peut même porter à sa surface des substances d'une pesanteur spécifique moindre, et non susceptibles de se composer ou de se mêler avec les substances inférieures.

Là naîtraient ces phénomènes dont nous nous formons difficilement une idée, en les jugeant de la surface de notre globe ; là se montreraient aussi les étoiles filantes, qui arrivent de plus haut, les aurores boréales, et ces grands phénomènes lumineux dont nous sommes souvent les témoins sans pouvoir les soumettre directement à nos expériences. Toutes ces parties ne nous échappent pas complétement, surtout dans les aurores boréales et dans les phénomènes magnétiques. Si nous ne pouvons toucher la cause, nous en ressentons assez vivement les effets pour être en état de les apprécier.

Sir John Herschel, de la Rive, Hansteen paraissent partager sur ce point l'opinion de Quételet. Nous pouvons parfaitement admettre qu'au-dessus de notre atmosphère d'oxygène, d'azote et de vapeur d'eau, réside une atmosphère extrêmement légère, qui peut s'élever jusqu'à 80 lieues de hauteur, et se trouve naturellement composée des gaz les plus légers, et, j'imagine, surtout d'hydrogène.

Le globe terrestre ayant environ 3000 lieues de diamètre, cette épaisseur totale représente le 40e du diamètre du globe. L'existence simultanée de ces deux atmosphères est donc la conclusion générale à laquelle nous nous arrêterons d'abord ici.

Quant à la base de l'Atmosphère, nous pouvons nous demander maintenant si elle s'arrête à la surface du sol et ne descend pas dans l'intérieur du globe lui-même.

Pesant sur tous les corps situés à la surface de la Terre, elle tend à pénétrer partout, entre les molécules des liquides comme dans les interstices des roches; l'eau en contient, de même que les végétaux et tous les composés organiques; la terre, les pierres poreuses en sont imprégnées, et cela d'autant plus que la pression est plus considérable. On voit donc que l'air ne doit pas être limité à la portion qui est à l'état d'enveloppe gazeuse, et qu'une fraction notable de ses éléments constituants a pénétré les eaux de l'Océan et les interstices des terrains. Quelques savants ont supposé que l'air qui compose l'Atmosphère n'était qu'un prolongement d'une atmosphère intérieure; mais l'élévation de température due à la chaleur centrale s'oppose à la condensation des gaz, et doit limiter la présence de l'air dans les couches profondes.

On peut avoir une valeur approchée de la quantité d'air qui est ainsi engagée dans les eaux de l'Océan par la mesure de l'absorption des gaz par les liquides. A la pression ordinaire, l'eau de mer absorbe de deux à trois centièmes de son volume d'air: seulement, la proportion d'oxygène est plus forte que dans l'air ordinaire. Le calcul montre que la quantité d'air absorbée par l'Océan ne dépasse pas le $\frac{1}{300}$ de l'Atmosphère.

Voilà donc cette atmosphère terrestre complétement déterminée pour nous dans sa hauteur et dans sa forme. Il nous reste encore ici toutefois un point curieux à élucider, c'est de remonter, s'il est possible, aux causes de l'existence de cette enveloppe, respiration de la terre entière.

En discutant les trois états des corps comme dépendants de la quantité de calorique qu'ils possèdent, Lavoisier est arrivé à des vues remarquables sur ce problème. L'étude du calorique, dit-il, jette un grand jour sur la manière dont se sont formées, dans l'origine des choses, les atmosphères des planètes, et notamment celle de la Terre. On conçoit que cette dernière doit être le résultat et le mélange 1° de toutes les substances susceptibles de se vaporiser ou plutôt de rester dans l'état aériforme, au degré de température dans lequel nous vivons, et à une pression égale à celle de l'air; 2° de toutes les substances susceptibles de se dissoudre dans cet assemblage de différents gaz.

Pour fixer nos idées sur ce sujet, considérons un moment ce qui arriverait aux différentes substances qui composent le globe, si la température en était brusquement changée. Supposons, par exemple, que la Terre se trouvât transportée tout à coup dans une région beaucoup plus chaude du système solaire, dans la région de

Mercure, par exemple, où la chaleur habituelle est probablement fort supérieure à celle de l'eau bouillante : bientôt l'eau et les autres liquides terrestres, le mercure lui-même, entreraient en ébullition ; ils se transformeraient en fluides aériformes ou gaz, qui deviendraient parties de l'Atmosphère. Ces nouvelles espèces d'air se mêleraient avec celles déjà existantes, et il en résulterait des combinaisons nouvelles, jusqu'à ce que les diverses affinités se trouvant satisfaites, les principes qui composeraient ces différents gaz arrivassent à un état de repos. Mais cette vaporisation même aurait des bornes ; à mesure que la quantité des fluides élastiques augmenterait, leur pesanteur s'accroîtrait en proportion ; et la nouvelle atmosphère arriverait à un degré de pesanteur tel, que l'eau qui n'aurait pas été vaporisée jusqu'alors cesserait de bouillir et resterait à l'état liquide ; en sorte que la pesanteur de l'Atmosphère serait limitée et ne pourrait excéder un certain terme. On pourrait porter ces réflexions beaucoup plus loin, ajoute Lavoisier, et examiner ce qui arriverait aux pierres, aux sels et aux substances fusibles qui composent notre globe ; on conçoit qu'elles se ramolliraient, entreraient en fusion et formeraient des fluides.

Par un effet contraire, si la Terre se trouvait tout à coup placée dans des régions très-froides, l'eau qui forme aujourd'hui nos fleuves et nos mers, et probablement le plus grand nombre des liquides que nous connaissons, se transformerait en montagnes solides, en rochers d'abord diaphanes, homogènes et blancs comme le cristal de roche, mais qui, se mêlant avec des substances de différente nature, formeraient ensuite des pierres opaques diversement colorées. L'air, dans cette supposition, ou au moins une partie des substances aériformes qui le composent, cesseraient d'exister dans l'état de vapeurs élastiques, faute d'un degré de chaleur suffisant ; elles reviendraient donc à l'état de liquidité, et il en résulterait de nouveaux liquides dont nous n'avons aucune idée.

Ces deux suppositions extrêmes font voir clairement : 1° que *solides*, *liquides*, *gaz* sont trois états différents de la même matière, trois modifications particulières, par lesquelles presque toutes les substances peuvent successivement passer, et qui dépendent uniquement du degré de chaleur auquel elles sont exposées ; 2° que notre atmosphère est un composé de tous les fluides susceptibles d'exister dans un état de vapeur et d'élasticité constante au degré habituel de chaleur et de pression que nous éprouvons ; 3° qu'il ne serait pas impossible qu'il se rencontrât dans notre atmosphère des substances extrêmement compactes, des métaux

même, et qu'une substance métallique, par exemple, qui serait un peu plus volatile que le mercure, serait dans ce cas.

On sait, ajoute encore l'illustre et infortuné chimiste, que certains liquides « sont, comme l'eau et l'alcool, susceptibles de se mêler les uns avec les autres dans toutes proportions; les autres, au contraire, comme le mercure, l'eau et l'huile, ne peuvent contracter que des adhérences momentanées; ils se séparent lorsqu'ils ont été mélangés, et se rangent en raison de leur gravité spécifique. La même chose doit arriver dans l'Atmosphère; il est probable qu'il s'est formé dans l'origine et qu'il se forme tous les jours des gaz qui ne sont que difficilement miscibles à l'air, et qui s'en séparent; si ces gaz sont plus légers, ils doivent se rassembler dans les régions élevées et y former des couches qui nagent sur l'air. Les phénomènes qui accompagnent les météores ignés me portent à croire qu'il existe ainsi dans le haut de l'Atmosphère une couche d'un fluide inflammable, et que c'est au point de contact de ces deux couches d'air que s'opèrent les phénomènes de l'aurore boréale et des autres météores ignés. »

On voit que l'éminent chimiste français avait précédé nos savants contemporains dans l'idée de l'existence d'une atmosphère supérieure. Remarquons maintenant que d'après ces conditions de température, l'origine de l'Atmosphère doit être cherchée dans les périodes primitives, où le globe, encore incandescent et liquide, se couvrait lentement d'une mince pellicule solide, et développait à sa surface des quantités indescriptibles de gaz et de vapeurs se livrant des batailles incessantes. L'eau, combinaison d'oxygène et d'hydrogène, prit naissance au sein de ce gigantesque laboratoire primordial. L'air, mélange d'oxygène et d'azote, ne dut arriver qu'après mille variations à sa composition actuelle.

Qui pourrait dire les combats tumultueux livrés jadis sur ce globe par les éléments primitifs? Qui pourrait dire à quelles conflagrations épouvantables nous devons aujourd'hui cette eau pure et souriante des ruisseaux, cet air azuré du ciel? Arrivés tard sur ce globe antique, il nous est difficile de remonter à cette origine mystérieuse, à ces transformations étranges du monde antédiluvien.

Les pluies chaudes sur les métaux incandescents ont dû décomposer et former bien des corps. Comme l'a écrit A. M. Ampère dans une théorie cosmogonique qui complète celle de Laplace, nous trouvons aujourd'hui dans l'Atmosphère même un grand monument des bouleversements qu'a produits sur le globe la décomposition

des corps oxygénés par les métaux : c'est l'énorme quantité d'azote qui forme la plus grande partie de l'enveloppe aérienne. Il est peu naturel de supposer que cet azote n'ait pas été primitivement combiné, et tout porte à croire qu'il l'était avec l'oxygène sous la forme d'acide nitreux ou nitrique. Pour cela, il lui fallait huit ou dix fois plus d'oxygène qu'il n'en reste. Où sera passé cet oxygène? Suivant toute apparence il aura servi à l'oxydation de

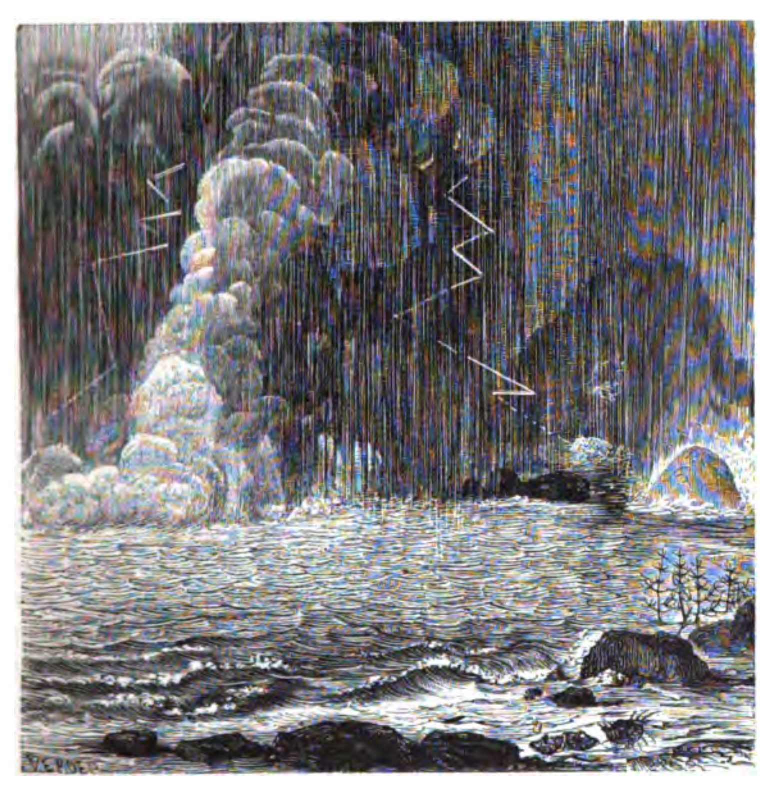


Fig. 5. — Formation de l'Atmosphère.

substances autrefois métalliques et aujourd'hui converties en alumine, en chaux, en oxyde de fer, de manganèse, etc.

Il y aurait donc eu à une certaine époque précipitation d'acide nitrique, dissolution des métaux, et dégagement de gaz nitreux, le tout accompagné d'une effervescence et d'une élévation de température formidables, qui auraient transformé l'Atmosphère en une mer bouillante, surchargée de vapeurs corrosives dont les énergiques réactions produisaient une mêlée indescriptible. La prédominance du sel marin donne lieu de penser que parmi

les gaz qui entraient dans la composition de ces vapeurs primitives, le chlore n'était pas le moins abondant. Ampère suppose qu'après un refroidissement nouveau, une nouvelle mer s'étant formée, elle ne recouvrit plus toute la surface du noyau solide; que des îles apparurent au-dessus des eaux, et que la surface de la terre fut entourée d'une enveloppe formée, comme la nôtre, de fluides élastiques permanents, mais dans des proportions probablement fort différentes. Il semble, en effet, résulter des ingénieuses recherches de Brongniart, qu'à ces époques reculées cette enveloppe contenait beaucoup plus d'acide carbonique qu'aujourd'hui. Elle était impropre à la respiration des animaux, mais très-favorable à la végétation. Aussi la Terre se couvrit-elle de plantes qui trouvaient dans l'air riche en carbone une nourriture abondante et féconde : d'où résultait un développement beaucoup plus considérable, que favorisait en outre un haut degré de température. C'est de cette époque que datent les houilles, immenses dépôts de végétaux carbonisés.

L'absorption et la destruction continuelles de l'acide carbonique par les végétaux rendaient l'air de plus en plus semblable en composition à ce qu'il est maintenant. Cependant l'enveloppe gazeuse n'était pas encore propre à entretenir la vie des animaux qui respirent l'air directement. Ce fut en effet dans l'eau qu'apparurent les premiers êtres appartenant au règne : les rayonnés et les mollusques. La première population des mers fut uniquement composée d'invertébrés, puis vinrent les poissons, et plus tard les reptiles marins. Après l'époque des poissons, après celle des sauriens féroces et monstrueux, vinrent les mammifères; l'Atmosphère se constitua peu à peu dans ses éléments chimiques et physiques qui la caractérisent aujourd'hui, et les organismes plus parfaits dominèrent le globe dont la conquête appartient aujourd'hui à l'espèce humaine.... Le vent qui mugissait dans ces forêts antédiluviennes, les foudres qui grondaient, les illuminations des crépuscules, les parfums des plantes sauvages et les panoramas solitaires des grands paysages, n'avaient alors aucun œil humain pour les contempler, aucune oreille pour les entendre, aucune pensée pour les connaître,... mais de siècle en siècle se préparaient les conditions de l'existence humaine sur notre planète habitée.

CHAPITRE IV.

POIDS DE L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE.

LE BAROMÈTRE ET LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE.

En nous occupant de la hauteur de l'Atmosphère, nous venons déjà de remarquer que l'air est plus dense dans les régions inférieures de l'océan aérien, c'est-à-dire à la surface du sol où nous rampons, que dans les régions supérieures. L'air, quelque léger et fluidique qu'il nous paraisse, a donc un poids réel. Chaque mètre carré de la surface du globe supporte une pression considérable, que nous allons tout à l'heure évaluer, et qui correspond à la hauteur et à la densité de la colonne d'air d'égale section posée sur lui.

Les anciens ne connaissaient pas la *mesure* de la pression atmosphérique; il ne faut pas cependant en conclure qu'ils ignorassent les effets qu'elle exerce, surtout pendant les vents les plus violents : mais cette force que chacun éprouvait sans songer à l'apprécier, ne fut déterminée que vers le milieu du dix-septième siècle.

Le grand-duc de Toscane ayant eu, en 1640, la fantaisie alors princière d'avoir des jets d'eau sur la terrasse de son palais, les fontainiers de Florence trouvèrent qu'il était absolument impossible d'amener l'eau au-dessus de 32 pieds. Le duc écrivit à l'illustre Galilée sur ce singulier refus de l'eau d'obéir aux pompes. Torricelli, l'élève et l'ami de Galilée, donna l'explication du fait, et montra, comme nous allons le voir, que cette colonne d'eau de 32 pieds faisait équilibre à la pression de l'Atmosphère prise dans toute sa hauteur.

On a quelquefois, par un malentendu, attribué à Pascal la belle invention de Torricelli. Voici comment le philosophe français rend lui-même compte de cette méprise en exposant ce qui lui appartient : « Le bruit de mes expériences s'étant répandu dans Paris, on les confondit avec celles d'Italie, et, dans ce mélange, les uns me faisant un honneur qui ne m'était pas dû, m'attribuaient cette expérience d'Italie, et les autres, par une injustice contraire, m'ôtaient celles que j'avais faites. Pour rendre aux autres et à moi-même la justice qui nous était due, je fis imprimer en 1647 les expériences qu'un an auparavant j'avais faites en Normandie; et afin qu'on ne les confondît plus avec celle d'Italie, j'annonçai celle-ci à part, et de plus en caractères italiques, au lieu que les miennes sont en romain; et ne m'étant pas contenté de la distinguer par toutes ces marques, j'ai déclaré en mots exprès, dans cet avis au lecteur, que *je ne suis pas inventeur de celle là; qu'elle a été faite en Italie quatre ans avant les miennes*, que même *elle a été l'occasion qui me les a fait entreprendre.* »

C'est donc le refus de l'eau à s'élever au-dessus de 10 mètres dans les corps de pompe qui révéla à Torricelli le poids de l'Atmosphère. Examinons d'abord un instant le mécanisme et le jeu des pompes.

Tout le monde sait que ces appareils simples et antiques servent à élever l'eau par aspiration, par pression ou par les deux effets combinés. De là leur division en *pompe aspirante*, *pompe foulante*, et *pompe aspirante et foulante*. Avant Galilée, on attribuait l'ascension de l'eau dans les pompes aspirantes à *l'horreur de la nature pour le vide;* mais cette ascension est simplement un effet de la pression atmosphérique.

Concevons un tube à la partie inférieure duquel se trouve un piston, et plongeons sa partie inférieure dans l'eau. Si l'on vient à élever le piston, le vide se fait au-dessous de lui, et la pression atmosphérique *s'exerçant sur la surface extérieure du liquide* force celui-ci à s'élever dans le tube et à suivre le piston dans son mouvement.

C'est là simplement le principe de la *pompe aspirante,* qui se compose essentiellement d'un corps de pompe, dans lequel se meut un piston communiquant par un tuyau avec un réservoir d'eau (fig. 6). Au point de jonction du corps de pompe et du tuyau d'aspiration se trouve une soupape s'ouvrant de bas en haut; de même dans l'épaisseur du piston se trouve une ouverture formée par une soupape analogue.

Pour que l'eau puisse arriver jusqu'au corps de pompe, il faut que la soupape d'aspiration soit à moins de 10 mètres au-dessus du niveau de l'eau dans le puisard ; s'il en était autrement, l'eau s'arrêterait en un certain point du tuyau, sans que le mouvement du piston pût la faire élever davantage.

En outre, pour qu'à chaque ascension du piston on enlève un volume d'eau égal au volume du corps de pompe, il faut que le déversoir lui-même soit fait à moins de 10 mètres au-dessus du

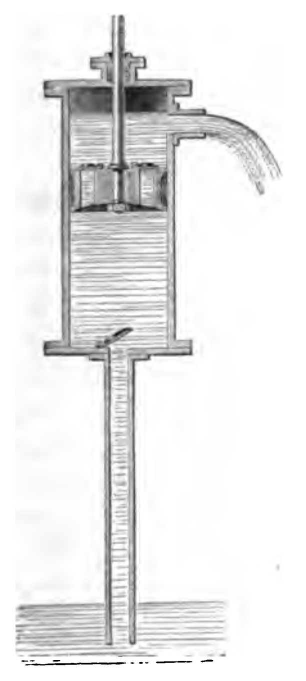


Fig. 6. — Pompe aspirante

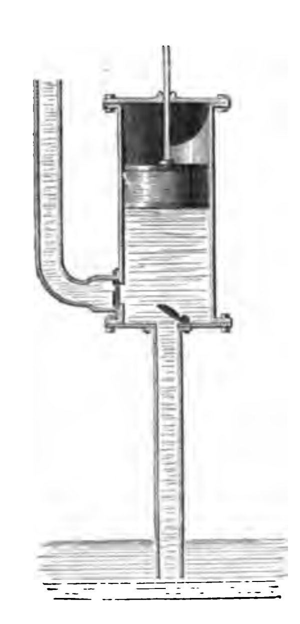


Fig. 7. — Pompe aspirante et foulante.

réservoir. On voit donc que la pompe aspirante ne permet pas d'élever l'eau à plus de 10 mètres de hauteur.

Mais une fois que l'eau a passé au-dessus du piston, la hauteur à laquelle on peut alors la porter ne dépend que de la force qui fait mouvoir le piston.

La pompe *aspirante et foulante* (fig. 7) élève l'eau à la fois par aspiration et par pression. A la base du corps de pompe, sur l'orifice du tube d'aspiration, est encore une soupape ouvrant de bas en haut. Une autre soupape s'ouvrant dans le même sens ferme l'ouverture du tube coudé qui vient se terminer dans un vase nommé le réservoir d'air. Enfin, de ce réservoir part un tube

d'ascension destiné à élever l'eau à une hauteur plus ou moins considérable.

Enfin, la pompe *foulante* n'agit que par action mécanique et n'utilise pas la pression atmosphérique. Elle ne diffère de la précédente que parce qu'elle n'a pas de tuyau d'aspiration, son corps de pompe plongeant dans l'eau même qu'on veut élever.

Sur cette élévation de l'eau jusqu'à une certaine hauteur, le compatriote de Galilée, éloignant comme son maître toute idée de cause occulte, exposa que *le poids de l'air du réservoir force l'eau à monter dans le tube dont on soutire l'air*, et cela jusqu'à ce que le poids de l'eau élevée dans le tube équivale celui de l'air pesant sur une section égale du réservoir. Il arriva, par une simple conséquence de ce raisonnement, à créer le Baromètre.

Pour exercer des pressions égales, les colonnes liquides doivent avoir des hauteurs qui soient en raison inverse de leur densité; donc un liquide qui pèserait deux fois plus que l'eau, ferait équilibre à l'Atmosphère avec une colonne de 16 pieds, et le mercure qui pèse à peu près quatorze fois plus que l'eau doit faire équilibre avec une colonne qui est la quatorzième partie de 32 pieds, ou environ 28 pouces. C'est une conséquence facile à vérifier. On prend un tube de verre d'un mètre de longueur, fermé par un bout; on le remplit de mercure, et ensuite, après l'avoir bouché avec le doigt (fig. 8), on le retourne verticalement pour en plonger l'extrémité dans une cuvette remplie de même liquide. Aussitôt qu'on enlève le doigt, le mercure intérieur descend de plusieurs centimètres, puis il s'arrête (fig. 9); l'équilibre est établi, la colonne liquide qui reste supendue dans le tube est une véritable balance, car son poids, c'est-à-dire sa hauteur, fait précisément équilibre à la pression atmosphérique.

A ce tube de mercure ainsi posé verticalement sur une cuvette de mercure, le savant élève de Galilée donna le nom de *Baromètre*, c'est-à-dire d'appareil indiquant le poids de l'air (du grec βάρος, poids, et μέτρον, mesure).

Le baromètre se compose donc essentiellement d'un tube de mercure plongé dans une cuvette. Dans notre dernier Livre, nous nous occuperons des applications nombreuses de cet appareil ainsi que de ses diverses espèces; ici l'important était de définir son principe. Ce baromètre réduit à ses plus simples conditions s'appelle le *Baromètre normal* (fig. 10).

L'invention du baromètre par Torricelli date de l'année 1643.

Trois ans plus tard, en 1646, Pascal renouvela l'expérience en France par un véritable *baromètre à eau*, et même par un *baromètre à vin*. C'était à Rouen, son tube avait 46 pieds de long, et pour s'éviter la difficulté, insurmontable à cette époque, d'en épuiser l'air directement, il le fit sceller à un bout, le remplit de vin, et ferma l'autre bout avec un bouchon. Alors, par le moyen de cordes et de poulies, le tube fut redressé verticalement, et l'extrémité infé-

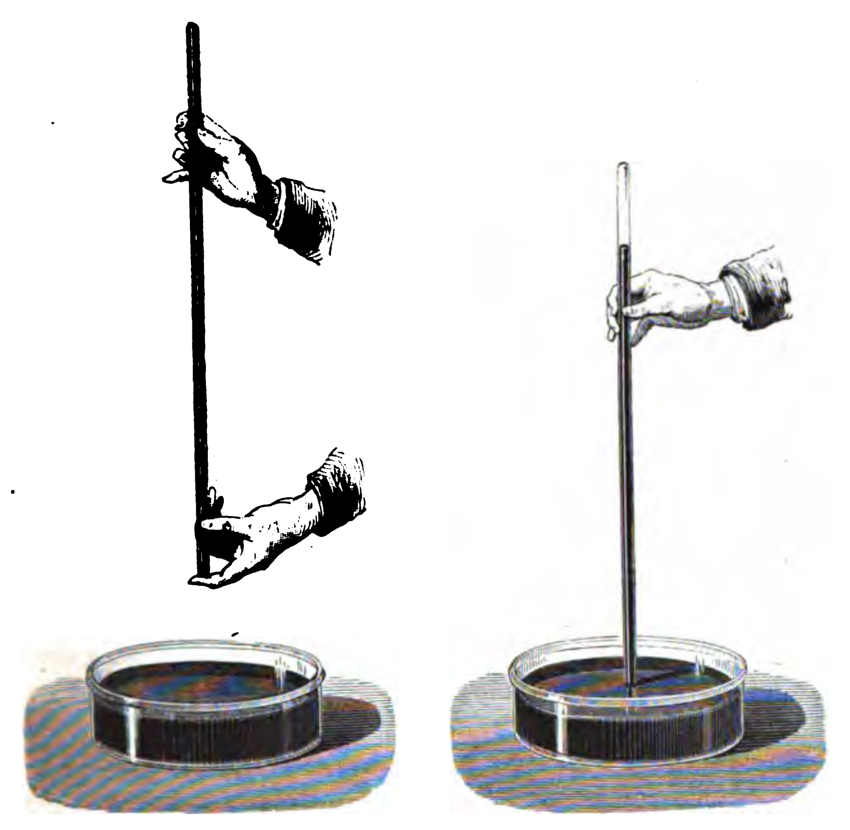


Fig. 8. — Le tube plein de mercure. Fig. 9. — Le tube dans la cuvette.

rieure fut plongée dans un vase d'eau. Au moment où l'on enleva le bouchon qui la tenait fermée, toute la colonne liquide s'abaissa dans le tube jusqu'à ce que son sommet fût à environ 32 pieds au-dessus du niveau de l'eau du vase. Les 14 pieds qui étaient au-dessus étaient privés d'air. Ainsi, la colonne liquide faisait à elle seule équilibre à la pression atmosphérique : d'où il conclut qu'une colonne d'eau (ou de vin de même densité) de 32 pieds de hauteur pèse autant qu'une colonne d'air de même base.

La surface de la Terre est pressée comme si elle était recouverte d'une couche d'eau de 32 pieds de hauteur; et nous, qui vivons au fond de l'océan de l'air, nous subissons la même pression.

Si c'est la pression de l'air qui cause l'élévation du mercure ou de l'eau : en s'élevant à diverses hauteurs dans l'Atmosphère, le poids de la colonne de mercure soulevée, et par conséquent la longueur de cette colonne, doit diminuer graduellement de quantités correspondantes aux couches d'air laissées au-dessous de soi. L'expérience fut exécutée sur le Puy-de-Dôme d'après les instructions de Pascal, par son beau-frère, Florin Périer, le 19 septembre 1648; elle fut répétée par Pascal même sur la tour Saint-Jacques à Paris. Les résultats furent décisifs, et l'on eut dans le baromètre un moyen facile et sûr de mesurer le poids total de l'Atmosphère et les variations de la pression qu'elle exerce en divers temps et en divers lieux à la surface du globe.



Fig 10.
Baromètre normal.

Ainsi, c'est de 1643 à 1648 que fut démontrée la pression atmosphérique, par la construction du baromètre et les expériences auxquelles les chercheurs se livrèrent immédiatement.

Par une coïncidence très-fréquente dans l'histoire des sciences, tandis qu'on étudiait en Italie et en France les indications du baromètre, on s'occupait en Hollande de constater précisément le poids de l'air, mais par une tout autre méthode.

En 1650, Otto de Guéricke, bourgmestre de Magdebourg, invente la machine pneumatique, par laquelle on peut soutirer l'air contenu dans un récipient, et faire le *vide* presque absolu.

La même année, l'ingénieux inventeur imagine de peser un globe de verre, d'abord en lui laissant l'air qu'il contient, puis en lui enlevant cet air par la machine pneumatique. Le globe vide d'air est trouvé moins lourd que plein d'air, avec une différence de 1 gramme 29 pour chaque litre dont se compose la capacité du globe.

Déjà, Aristote avait soupçonné que l'air est pesant; pour s'en assurer il avait pesé une outre, d'abord vide, puis *gonflée* d'air :



Fig. 11. — Torricelli inventant le Baromètre.

car, disait-il, si l'air est pesant, l'outre doit être plus lourde dans le second cas que dans le premier. L'expérience n'ayant pas confirmé ses prévisions, il en conclut que l'air n'était pas pesant. Cependant plusieurs philosophes de l'antiquité admettaient la matérialité de l'air comme un fait. Ainsi l'école d'Épicure comparait les effets du vent à ceux de l'eau en mouvement, et regardait les éléments de l'air comme des corps invisibles; Lucrèce en parle longuement. Toutefois, pendant le règne de la philosophie péripatéticienne, on admit que l'air était sans poids, et un petit nombre seulement de philosophes ne partagèrent pas cette erreur.

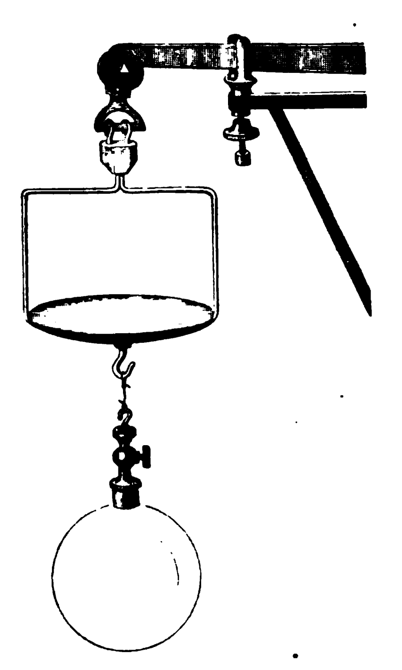


Fig. 12. — Expérience d'Otto de Guéricke.

Nous venons de voir qu'en répétant d'une manière judicieuse l'expérience d'Aristote, Otto de Guéricke a démontré le poids réel de l'air. Si Aristote avait trouvé le contraire, cela tient au changement de volume de l'outre dans ses deux essais; car tout corps pesé dans un fluide perd en poids une quantité égale au poids du fluide déplacé. L'outre employée par Aristote eût été plus lourde pesée dans le vide. Supposons qu'on y introduisît par insufflation environ 30 décimètres cubes d'air : son poids augmentait de 4 grammes environ, mais en même temps l'outre s'était gonflée; son volume s'était accru de 30 décimètres cubes, et déplaçait un volume d'air d'un poids égal, de telle sorte que sa perte en poids était également de 4 grammes, et qu'en définitive son poids restait le même; mais dans l'expérience d'Otto de Guéricke, le vase avait toujours la même capacité, qu'il fût vide ou plein d'air; et sa perte en poids par l'air déplacé étant la même dans les deux cas, on devait trouver une différence qui démontrât la pesanteur de l'air.

Otto de Guéricke imagina en même temps les *Hémisphères de Magdebourg*, ainsi nommés de la ville où ils furent inventés, et qui consistent en deux hémisphères creux, de cuivre, de 10 à 12 centimètres de diamètre. Ils s'emboîtent hermétiquement l'un dans l'autre. L'un des hémisphères porte un robinet qui peut se visser

sur la platine de la machine pneumatique, et l'autre un anneau qui sert de poignée pour le saisir et le tirer. Tant que les deux hémisphères, étant en contact, comprennent entre eux de l'air, on les sépare sans difficulté, car il y a équilibre entre la force expansive de l'air intérieur et la pression extérieure de l'Atmosphère; mais une fois que le vide est fait, on ne peut plus les séparer sans un effort considérable.

Dans une de ses expériences, le savant bourgmestre fit tirer chaque hémisphère par *quatre forts chevaux* sans parvenir à les séparer : le diamètre était de 65 centimètres, ce qui donne le chiffre de 3428 kilogrammes pour la pression atmosphérique exercée dans la direction de la résistance.

La pression de l'Atmosphère sur un centimètre carré de surface est équivalente au poids d'une colonne de mercure dont le volume est de 76 centimètres, ce qui correspond à 1^{kil},033.

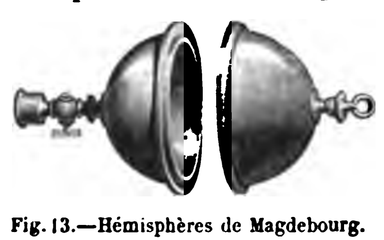


Fig. 13.—Hémisphères de Magdebourg.

Il est facile (et curieux) d'en conclure que la superficie du corps d'un homme de taille moyenne étant d'un mètre carré et demi, c'est-à-dire de 15 000 centimètres carrés, chacun de nousp orte une charge de 15 500 kilogrammes !

Si nous ne sommes pas écrasés sous cette énorme pression, c'est parce qu'elle n'agit pas seulement dans le sens de la verticale ; l'air nous entourant de tous côtés, sa pression se transmet sur notre corps dans tous les sens, et par suite se neutralise. L'air pénètre librement et avec sa pression tout entière dans les cavités les plus profondes de notre organisme; dès lors nous supportons du dedans au dehors la même charge que du dehors au dedans, et par suite ces poids s'équilibrent exactement. C'est ce que l'on démontre facilement par l'expérience du *crève-vessie*.

Prenons un manchon de verre fermé hermétiquement, à sa partie supérieure, par une membrane de baudruche. L'autre extrémité s'applique exactement (fig. 14) sur le récipient de la machine pneumatique. Aussitôt qu'on commence à faire le vide dans ce manchon, la membrane se déprime sous la pression atmosphérique qu'elle supporte, et bientôt crève avec une vive détonation causée par la rentrée subite de l'air.

L'inverse arrive si l'on diminue la pression extérieure. En plaçant un oiseau sous le vide de la machine pneumatique, nous

voyons son corps se gonfler, le sang en jaillir avec violence, et peu après le petit être périr, boursouflé, victime d'une sorte d'explosion inverse de la précédente.

Ce fait est encore confirmé, comme nous le verrons plus loin, par les ascensions à de grandes hauteurs. Quand on atteint des régions où l'air est notablement raréfié, les membres se gonflent et le sang tend à s'échapper de l'épiderme par suite du manque d'équilibre entre sa propre tension et celle de l'air extérieur.

On s'amuse parfois à constater la pression atmosphérique par une expérience fort simple : on remplit exactement d'eau un verre, et on applique à la partie supérieure une feuille de papier; on peut alors le renverser sans que le liquide tombe, ce qu'il faut attribuer à la pression normale que l'Atmosphère exerce sur la feuille

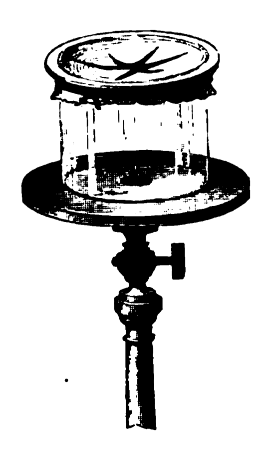


Fig. 14. — Pression atmosphérique. Rupture d'équilibre.



Fig. 15. — Pression atmosphérique sous un verre renversé.

de papier. Le rôle de la feuille de papier est d'empêcher le mouvement individuel des molécules liquides, qui sans elle obéiraient séparément à l'action de la pesanteur, en même temps que l'air s'introduirait dans le verre. Toutefois si l'ouverture était suffisamment petite, l'adhérence du liquide contre les parois produirait le même effet et la feuille deviendrait inutile. C'est ainsi, par exemple, que bien que l'on pratique une petite ouverture sous un tonneau plein, le liquide ne s'écoule pas, et il faut, pour que l'écoulement ait lieu, « donner de l'air » à la partie supérieure par une seconde ouverture. Le petit tube appelé pipette, qui garde le vin tant que le doigt reste appliqué au-dessus, fonctionne par le même principe.

Nous venons de dire que là où l'on fait le vide la pression de l'air atmosphérique est d'environ $1^{kil},033$ par centimètre carré. C'est cette pression qui retient le lépas au rocher, lorsque par la contraction ce mollusque a fait le vide sous sa coquille. La mouche pompant l'air et se collant au plafond nous en fournit un autre exemple. Les ventouses appliquées sur les membres n'agissent que par le même principe, et à chaque pas l'observation peut nous montrer un fait organique fondé sur les effets de la pression atmosphérique.

Tels sont les faits généraux et les expériences qui ont démontré la réalité du poids de l'air et sa valeur numérique, et donné naissance à l'instrument destiné à la mesure permanente de ce poids : au baromètre. Il importe maintenant d'appliquer ces notions à l'étendue de l'Atmosphère, que déjà nous avons essayé d'apprécier dans le chapitre précédent.

Au fond de l'océan aérien, la pression soutient en moyenne la colonne barométrique à la hauteur de 760 millimètres, quelle que soit d'ailleurs le diamètre du tube.

Des expériences plusieurs fois répétées par les physiciens les plus habiles et dont on a vérifié la complète exactitude, ont montré que le poids de l'air à 0° de température, et sous une pression de 760 millimètres, est au poids d'un volume égal de mercure, dans le rapport de l'unité à 10 509; c'est-à-dire que 10 509 millimètres cubes d'air, par exemple, pèsent autant que 1 millimètre cube de mercure. Il suit de là qu'il faut s'élever de 10 509 millimètres, ou de 10 mètres et demi, pour que le mercure s'abaisse dans le tube du baromètre de 1 millimètre. Si la densité des couches d'air était partout la même, on pourrait facilement déduire du résultat précédent, non-seulement la hauteur d'un lieu quelconque dans lequel le baromètre aurait été observé, mais encore la hauteur totale de l'Atmosphère. Il est clair, en effet, que si un abaissement de 1 millimètre dans la hauteur du baromètre correspondait à un déplacement vertical de $10^{m},509$, un abaissement de 760 millimètres, qui est la hauteur totale du baromètre, devrait correspondre à $10^{m},509$ pris 760 fois, ou à 7986 mètres.

Telle serait la hauteur de l'Atmosphère si sa densité restait la même avec la hauteur; mais nous avons vu que ses couches inférieures sont plus denses que les supérieures. Il résulte de là qu'il faudra parcourir en hauteur, pour faire baisser le mercure du baromètre de 1 millimètre, un espace qui dépassera d'autant plus

10^{m},509 qu'on se trouvera dans une couche d'air plus rare ou plus élevée au-dessus du niveau des mers et du sol.

Halley est le premier qui ait cherché à calculer une formule par laquelle les hauteurs seraient obtenues par les observations barométriques.

Nous avons vu dans le chapitre précédent que, depuis les études de Mariotte, on a reconnu que l'air se comprime proportionnellement aux poids dont il est chargé ou aux pressions auxquelles on le soumet. On déduit de là, par un calcul très-simple, que, si l'on s'élève verticalement dans l'Atmosphère, à des hauteurs successives qui croissent en progression arithmétique, la densité de couches d'air correspondantes diminuerait en progression géométrique. (Or, ces densités étant proportionnelles aux hauteurs du mercure dans le baromètre, il en résulte que la différence de niveau de deux stations sera proportionnelle à la différence des logarithmes des hauteurs du baromètre.)

Cette progression serait vraie si la température était partout la même, et le calcul des hauteurs ne serait guère plus compliqué qu'en admettant une densité constante; mais la température de l'air diminue à mesure qu'on s'élève : la loi de la variation des densités n'est donc pas aussi simple puisque les couches supérieures sont plus condensées par le froid que les couches inférieures.

La variation de la température avec la hauteur est assez compliquée, comme nous le verrons plus loin : ce qui complique par là même la mesure barométrique dont nous nous occupons ici.

En même temps, les couches atmosphériques renferment toujours une certaine quantité de vapeur d'eau, dont le poids s'ajoute irrégulièrement à celui de l'air supposé sec.

De plus, le poids d'un corps quelconque, et par conséquent celui d'une couche d'air, est d'autant moindre que le corps est plus loin du centre de la Terre. La pesanteur des corps, variant en outre, avec la latitude terrestre, à cause de la force centrifuge qui naît du mouvement de rotation diurne, il est évident que pour qu'une même formule puisse être indistinctement employée pour le calcul des observations faites dans les différents points du globe, il est indispensable qu'elle renferme la latitude du lieu de l'observation, comme élément variable.

Laplace a présenté dans la *Mécanique céleste* les corrections auxquelles ces diverses causes donnent lieu dans la mesure

des hauteurs, et a déduit ainsi de la seule théorie une formule dont l'exactitude a été constatée par un grand nombre d'expériences.

On a cherché à abréger les calculs que nécessite la formule de Laplace; parmi les tables qu'on a publiées à cet effet, celles que l'on trouve chaque année dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes* sont les plus commodes.

Pour obtenir la hauteur d'une montagne, deux personnes, munies d'instruments comparés, font au même instant, l'une au sommet et l'autre au pied, l'observation de la hauteur du baromètre; elles ont soin d'observer en même temps les thermomètres qui sont enchâssés dans les montures de ces instruments, et ceux qui sont destinés à donner la température de l'air libre. Deux observations conjuguées suffisent à la rigueur, mais, lorsqu'on le peut, il est bon de multiplier les déterminations, parce qu'on augmente alors les chances de compensation des erreurs.

Un observateur isolé et muni de bons instruments peut aussi déterminer la différence de niveau de deux stations peu éloignées, avec une exactitude suffisante s'il a l'attention d'observer le thermomètre et le baromètre dans la station inférieure au moment du départ et à son retour. La comparaison de ces observations lui donne en effet la marche horaire des deux instruments, et dès lors il obtient par de simples parties proportionnelles les valeurs des corrections qu'il faut appliquer aux observations de la station la plus élevée, pour les rendre comparables à celles qu'on avait faites, à d'autres heures, dans le point le plus bas.

Lorsqu'on est parvenu, par une longue suite d'observations, à déterminer les hauteurs moyennes du baromètre et du thermomètre dans un lieu quelconque, on peut les employer à calculer l'élévation absolue de ce lieu, en prenant pour observations correspondantes les hauteurs moyennes du baromètre et du thermomètre au niveau de l'Océan.

Nous avons vu qu'au niveau de la mer et à 0 degré de température il faut s'élever de 10 mètres et demi pour voir le mercure s'abaisser de 1 millimètre. Nous ne pouvons pas ajouter qu'en s'élevant à 21 mètres le mercure serait abaissé de 2 millimètres, et supposer qu'on observera une diminution barométrique de 1 millimètre par 10 mètres environ d'ascension. Au contraire, la diminution de la pesanteur atmosphérique ne tarde pas à devenir très-rapide. On a fait aujourd'hui un nombre assez considérable d'observations ba-

rométriques à différentes hauteurs pour que nous puissions nous représenter exactement cette décroissance, non plus théoriquement, mais par l'observation directe.

En prenant une série d'observations faites à des hauteurs bien différentes, nous formons la petite table suivante. Les hauteurs sont ramenées à la température de zéro.

	Altitude.	Hauteur du baromètre.
Au niveau de la mer..........................	0	760
Hauteur moyenne à l'Observatoire de Paris.....	65	756
Hauteur moyenne à Strasbourg (Herreinschneider).	144	751
Haut. moy. à l'Observatoire de Toulouse (Petit).	198	746
Dijon, Côte-d'Or (A. Perrey)..................	245	742
Observatoire de Genève (Plantamour)...........	403	726
A Rodez, Aveyron (Blondeau)................	630	709
Au sommet du Vésuve (Palmieri)...............	1200	660
Guatemala Amérique (R. P. Canudas)...........	1480	641
A Guanaxuato (Humboldt)......................	2084	600
A l'hospice du Grand Saint-Bernard............	2478	563
Au sommet du Faulhorn (Bravais)..............	2674	555
Ville de Quito (Fouqué).......................	2908	534
Au sommet de l'Etna (Élie de Beaumont)........	3320	510
Dans plusieurs ascensions aéron. (Flammarion).	4000	475
Au sommet du Mont-Blanc (Ch. Martins)........	4800	424
Sur le Chimboraço (Humboldt et Bonpland)......	6100	360
Au sommet de l'Ibi-Gamin, plus haute montagne escaladée (Schlagintweit)....................	6704	340
Dans une ascension aéronautique (Gay-Lussac)...	7000	325
Dans une ascension aéronaut. (Bixio et Barral)...	7000	320
Dans plusieurs ascensions aéron. (Glaisher)....	8000	274
Dans la plus grande ascension (Glaisher)........	11000	165

Cette série satisfaisante d'observations barométriques, que nous pouvons établir grâce aux nombreuses ascensions faites soit en ballon, soit sur les montagnes, et aux études de plusieurs observateurs dans des points habités fort élevés au-dessus du niveau de la mer, nous permet aussi d'essayer de représenter par une courbe et par une teinte cette décroissance si rapide du poids de l'atmosphère. Dans cette figure (16), la ligne horizontale qui forme la base représente l'état du baromètre au niveau de la mer (760^{mm}). Chaque ligne horizontale reproduit la hauteur relative du baromètre suivant l'élévation, représentée elle-même par la verticale. On voit par une verticale et par la teinte qu'à 2500 mètres la pression est déjà diminuée d'un quart, qu'à 5500 elle l'est de moitié, et qu'à 9500 elle l'est des trois quarts!

La hauteur du baromètre diminue donc rapidement à mesure

qu'on s'élève au-dessus du niveau de la mer. Mais elle n'est pas la même sur la surface entière du globe, au niveau de la mer. Elle est plus basse à l'équateur que sous les tropiques. De part et d'autre de l'équateur, où, corrigée de la pesanteur, elle est de 758 millimètres, elle s'élève jusqu'au 33e degré de latitude où elle atteint

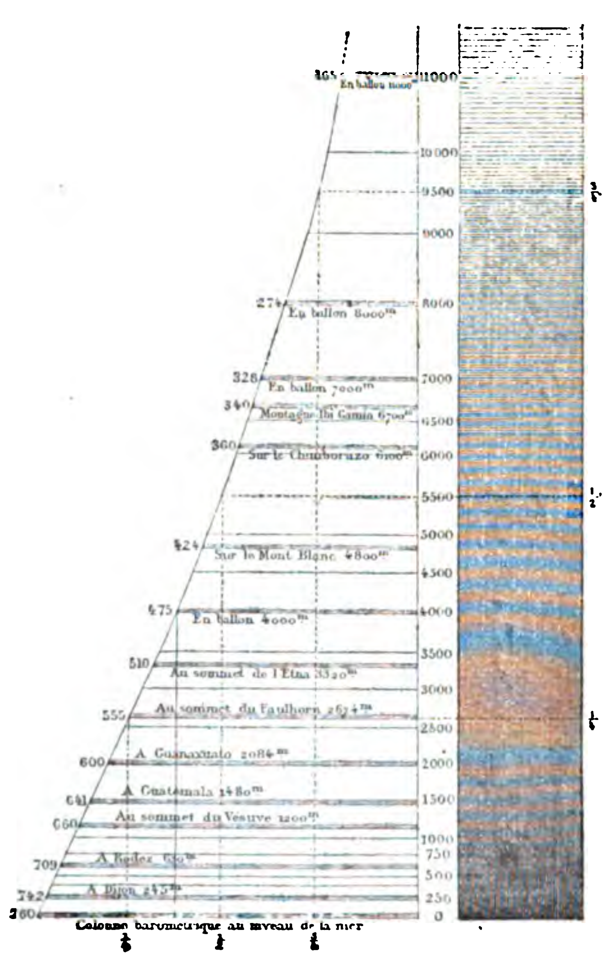


Fig. 16. — Diagramme de la décroissance rapide de la pression atmosphérique selon la hauteur.

766 millimètres. Puis elle décroît jusqu'au 43e degré (762^{mm}) vers lequel elle reste stationnaire jusqu'au 48e. Elle continue ensuite de décroître jusqu'au 64e degré, où elle est descendue à 753 millimètres. Enfin, de là elle remonte jusqu'aux dernières latitudes observées, au Spitzberg, 75e degré, où la hauteur du baromètre est

de 768 millimètres. Entre la pression au 33e degré et celle au 64e, il y a donc 12 millimètres de différence.

Je résume ces observations, et j'en trace la courbe suivante (fig. 17) d'après les mémoires de Humboldt, sir John Herschel, capitaine Beechey, Poggendorf et Erman.

Ces variations dans la pression atmosphérique sont probable-

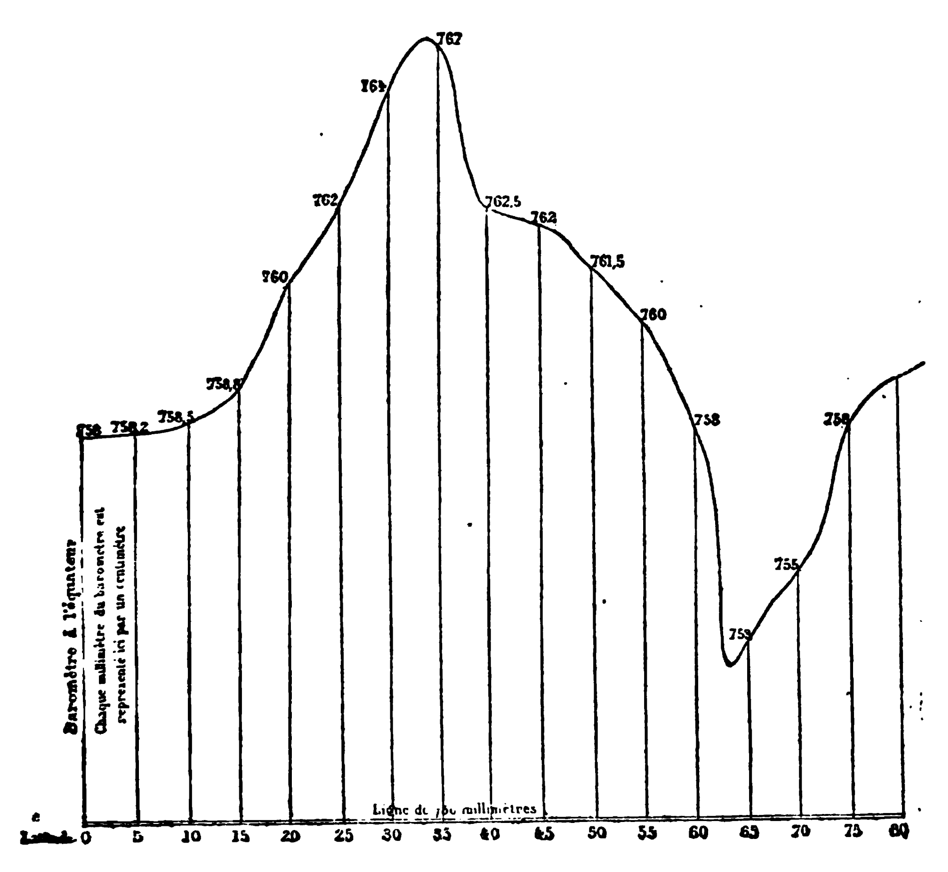


Fig. 17. — Variation de la pression atmosphérique au niveau de la mer, de l'équateur au pôle.

ment dues aux alisés et aux courants supérieurs, qui soulèvent légèrement la masse entière de l'Atmosphère.

On conçoit facilement que la latitude puisse avoir une influence sur la pression de l'air, puisque les conditions de température, de pesanteur et de mouvement rotatoire varient avec elle. On s'explique moins facilement celle de la longitude. Cependant elle existe. A latitude égale, la pression moyenne de l'Atmosphère est

de $3^{mm},5$ plus forte sur l'océan Atlantique que sur l'océan Pacifique.

La hauteur du baromètre change à chaque instant. Cependant en examinant les hauteurs moyennes, on peut construire une carte des lignes isobares à la surface de notre planète. C'est le travail que

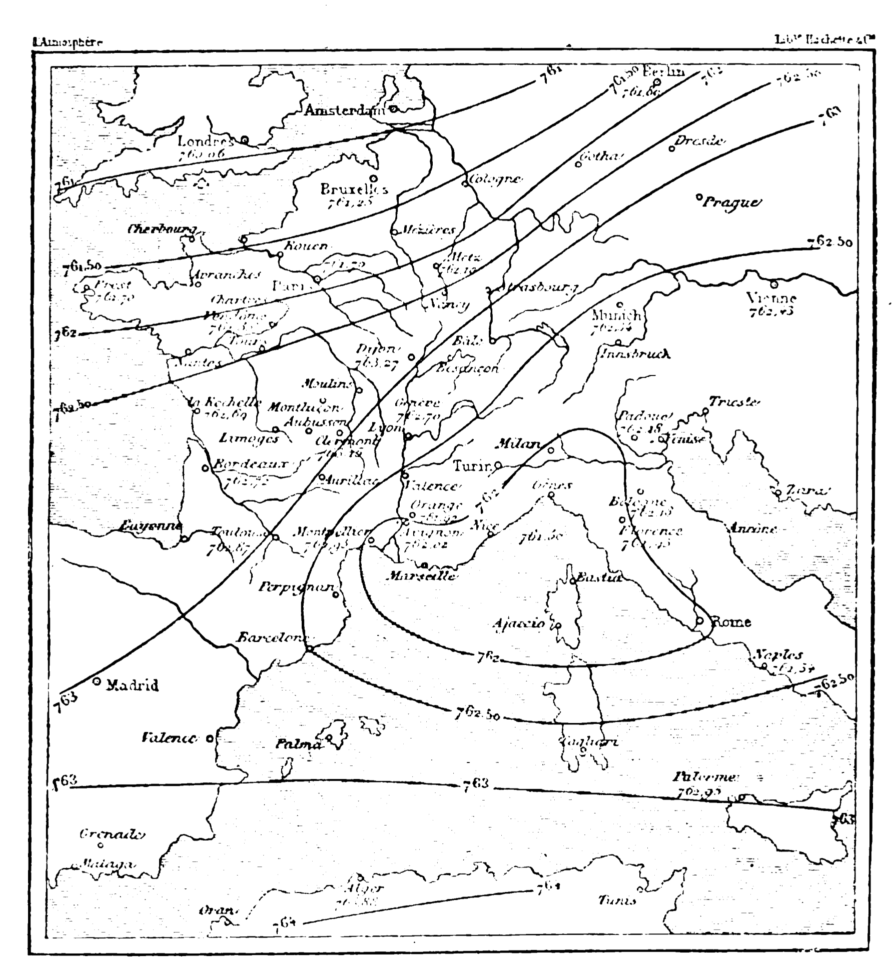


Fig. 18. — Carte des lignes isobares de la France.

Berghaus donne pour le globe entier, et que notre savant collègue de la Société météorologique, M. Renou, a entrepris pour la France.

On connaît à peu près, depuis longtemps, la distribution de la pression de l'Atmosphère sur l'océan Atlantique et sur l'ensemble des côtes.

La carte des lignes isobares en France a été construite d'après

un certain nombre de séries faites avec de bons instruments à des altitudes bien connues. Ces points y sont indiqués avec les hauteurs barométriques réduites au niveau de la mer: pour faire cette réduction, l'auteur s'est servi des températures telles qu'elles résultent du tracé des isothermes de la France. Il a tenu compte de toutes les corrections de variation de la pesanteur en latitude et altitude; comme partout il s'agit de plateaux, la correction a été *réduite* au 5/8 de celle qui correspondrait à des hauteurs en *ballon*, d'après les calculs de Poisson.

Ce travail est l'analogue de celui que A. de Humboldt a donné pour la distribution de la température à la surface du globe, il y a cinquante ans.

Les lignes d'égale pression ou *isobares* sont d'abord assez régulièrement distribuées quand on va du N. au S.; elles se dirigent de O.S.O. à E.N.E.; la ligne isobare de 761 millimètres passe par le midi de l'Angleterre et des Pays-Bas; celle de 762^{mm},50 près de Tours et de Nancy; mais le centre de la France offre une ligne de pression maximum très-remarquable; la ligne isobare de 763 millimètres traverse diagonalement la France, en passant près de Strasbourg, Chaumont, Dijon, Clermont et Toulouse; de l'autre côté, vers le S. E., la pression diminue, et elle atteint un minimum non moins remarquable sur le golfe de Gênes, où la pression se réduit à 761^{mm},50 environ.

La courbe de 762 millimètres est formée, et son tracé assez bien connu, à cause des points assez nombreux où l'on a fait de bonnes observations. L'isobare de 764 millimètres qui passe tout près d'Oran et un peu plus loin d'Alger se prolonge nécessairement dans l'O. à peu près parallèlement à la précédente.

Sur l'Atlantique on trouve un maximum de pression à 35° de latitude N. et un minimum de pression vers l'Islande, on rencontre un minimum de pression à 5° au nord de l'équateur, un maximum de pression considérable à 16° de latitude S. vers Sainte-Hélène, puis le minimum principal du monde au S. du cap Horn; la pression n'y dépasse pas 745 millimètres.

Sur le continent asiatique, la distribution est absolumest différente, et la Sibérie offre un maximum de 768 millimètres ou environ entre Nertchinsk et Bernaoul.

La principale difficulté, dans le calcul des altitudes, est la connaissance du niveau moyen de la mer. L'équilibre n'est pas absolu à la surface des mers; leur niveau est influencé par plusieurs causes : la force centrifuge dans la zone équatoriale, les vents, la

pression barométrique et la température; ajoutons la configuration des côtes, qui donne à l'action des vents et à celle de la marée un effet différent. Tout le monde sait que la mer monte plus vite qu'elle ne descend; quand les golfes sont resserrés, cet effet est plus prononcé : le long des côtes, la mer doit être plus haute qu'à une certaine distance.

Le niveau de la mer à Marseille est plus bas de 80 centimètres que le niveau moyen de l'Océan sur nos côtes. La Méditerranée doit être un plan incliné qui s'abaisse du détroit de Gibraltar jusqu'aux côtes de Syrie. Le dernier nivellement effectué en Égypte, de la Méditerranée à la mer Rouge, a montré que cette dernière est plus haute que la Méditerranée. Il est bien facile de voir que ces mers, recevant beaucoup moins d'eau qu'elles n'en laissent évaporer, doivent tendre à s'abaisser, et qu'elles ne s'alimentent que par les détroits qui les réunissent à l'Océan.

Ce premier tableau général du poids de l'air et de sa pression sur la surface sphérique du globe doit s'arrêter à cette esquisse. C'est en quelque sorte la statique. Nous arriverons bientôt à la dynamique. L'Atmosphère est sans cesse en mouvement, par ses déplacements partiels, horizontaux, verticaux et obliques, à la surface du globe. Il en résulte que le poids de l'air sur un lieu donné, ou la hauteur du baromètre, varie sans cesse. La chaleur solaire donne naissance à des *variations diurnes* et à des *variations mensuelles* régulières, dont l'intensité diffère suivant les latitudes. Le déplacement des grands courants donne naissance à des variations étendues sur une vaste échelle. Le changement de temps s'annonce par ces fluctuations liées à la pression générale.

Toutes ces variations dans la pression barométrique seront présentées et analysées dans notre septième Livre, qui couronnera cet ouvrage par l'exposé de l'état actuel des déductions de la science relatives au grand problème pratique de la prévision du temps.

A propos du poids général de l'Atmosphère, nous ne pouvons cependant clore ce chapitre sans signaler ce poids numérique lui-même.

Sous ce titre : *Combien pèse la masse entière de tout l'air qui est au monde*, Pascal a écrit, au moment où il s'adonnait à ses célèbres expériences sur la pression atmosphérique, un petit travail aussi simple que curieux, première ébauche de tout ce qui a été composé depuis sur ce sujet, et qui contient dès le principe la réponse absolue à la question que nous venons de souligner.

« Nous apprenons par ces expériences, dit-il, que l'air qui est sur

le niveau de la mer pèse autant que l'eau à la hauteur de 31 pieds 2 pouces; mais parce que l'air pèse moins sur les lieux plus élevés, et qu'ainsi il ne pèse pas sur tous les points de la Terre également, on ne peut pas prendre un pied fixe qui marque combien tous les lieux du monde sont chargés; mais on peut en prendre un par conjecture, bien approchant du juste : comme, par exemple, on peut faire état que tous les lieux de la terre en général, considérés comme également chargés d'air, le fort portant le faible, en sont autant pressés que s'ils portaient de l'eau à la hauteur de 31 pieds; et il est certain qu'il n'y a pas un demi-pied d'eau d'erreur en cette supposition.

« Or, nous avons vu que l'air qui est au-dessus des montagnes hautes de 500 toises pèse autant que l'eau à la hauteur de 26 pieds 11 pouces. Par conséquent, tout l'air qui s'étend depuis le niveau de la mer jusqu'au haut des montagnes hautes de 500 toises pèse à peu près la septième partie de la hauteur entière.

« Nous voyons aussi de là que, si toute la sphère de l'air était pressée et comprimée contre la terre par une force qui, la poussant par le haut, la réduisît en bas à la moindre place qu'elle puisse occuper, et qu'elle la réduisît comme en eau, elle aurait alors la hauteur de 31 pieds seulement. On peut considérer toute la masse de l'air, de la même sorte que si elle eût été autrefois comme une masse d'eau de 31 pieds de haut, qui eût été raréfiée et dilatée extrêmement, et convertie en cet état où nous l'appelons air, auquel elle occupe, à la vérité, plus de place, mais auquel elle conserve précisément le même poids.

« Et comme il n'y aurait rien de plus aisé que de supputer combien l'eau qui environnerait toute la terre à 31 pieds pèserait de livres, et qu'un enfant pourrait le faire, on trouverait, par le même moyen, combien tout l'air de la nature pèse, puisque c'est la même chose; et si on en fait l'épreuve, on trouvera qu'il pèse à peu près huit millions de millions de millions de livres.

« J'ai voulu avoir ce plaisir, et j'en ai fait le compte en cette sorte : En multipliant le diamètre de la terre par la circonférence de son grand cercle, on trouve qu'elle a en toute sa superficie sphérique 16495200 lieues carrées.

« C'est-à-dire, 103095000000000 toises carrées.

« C'est-à-dire, 3711420000000000 pieds carrés.

« Et parce qu'un pied cube d'eau pèse 72 livres, il s'ensuit qu'un prisme d'eau d'un pied carré de base et de 31 pieds de haut pèse 2232 livres.

pression barométrique et la température; ajoutons la configuration des côtes, qui donne à l'action des vents et à celle de la marée un effet différent. Tout le monde sait que la mer monte plus vite qu'elle ne descend; quand les golfes sont resserrés, cet effet est plus prononcé : le long des côtes, la mer doit être plus haute qu'à une certaine distance.

Le niveau de la mer à Marseille est plus bas de 80 centimètres que le niveau moyen de l'Océan sur nos côtes. La Méditerranée doit être un plan incliné qui s'abaisse du détroit de Gibraltar jusqu'aux côtes de Syrie. Le dernier nivellement effectué en Égypte, de la Méditerranée à la mer Rouge, a montré que cette dernière est plus haute que la Méditerranée. Il est bien facile de voir que ces mers, recevant beaucoup moins d'eau qu'elles n'en laissent évaporer, doivent tendre à s'abaisser, et qu'elles ne s'alimentent que par les détroits qui les réunissent à l'Océan.

Ce premier tableau général du poids de l'air et de sa pression sur la surface sphérique du globe doit s'arrêter à cette esquisse. C'est en quelque sorte la statique. Nous arriverons bientôt à la dynamique. L'Atmosphère est sans cesse en mouvement, par ses déplacements partiels, horizontaux, verticaux et obliques, à la surface du globe. Il en résulte que le poids de l'air sur un lieu donné, ou la hauteur du baromètre, varie sans cesse. La chaleur solaire donne naissance à des *variations diurnes* et à des *variations mensuelles* régulières, dont l'intensité diffère suivant les latitudes. Le déplacement des grands courants donne naissance à des variations étendues sur une vaste échelle. Le changement de temps s'annonce par ces fluctuations liées à la pression générale.

Toutes ces variations dans la pression barométrique seront présentées et analysées dans notre septième Livre, qui couronnera cet ouvrage par l'exposé de l'état actuel des déductions de la science relatives au grand problème pratique de la prévision du temps.

A propos du poids général de l'Atmosphère, nous ne pouvons cependant clore ce chapitre sans signaler ce poids numérique lui-même.

Sous ce titre : *Combien pèse la masse entière de tout l'air qui est au monde*, Pascal a écrit, au moment où il s'adonnait à ses célèbres expériences sur la pression atmosphérique, un petit travail aussi simple que curieux, première ébauche de tout ce qui a été composé depuis sur ce sujet, et qui contient dès le principe la réponse absolue à la question que nous venons de souligner.

« Nous apprenons par ces expériences, dit-il, que l'air qui est sur

le niveau de la mer pèse autant que l'eau à la hauteur de 31 pieds 2 pouces; mais parce que l'air pèse moins sur les lieux plus élevés, et qu'ainsi il ne pèse pas sur tous les points de la Terre également, on ne peut pas prendre un pied fixe qui marque combien tous les lieux du monde sont chargés; mais on peut en prendre un par conjecture, bien approchant du juste : comme, par exemple, on peut faire état que tous les lieux de la terre en général, considérés comme également chargés d'air, le fort portant le faible, en sont autant pressés que s'ils portaient de l'eau à la hauteur de 31 pieds; et il est certain qu'il n'y a pas un demi-pied d'eau d'erreur en cette supposition.

« Or, nous avons vu que l'air qui est au-dessus des montagnes hautes de 500 toises pèse autant que l'eau à la hauteur de 26 pieds 11 pouces. Par conséquent, tout l'air qui s'étend depuis le niveau de la mer jusqu'au haut des montagnes hautes de 500 toises pèse à peu près la septième partie de la hauteur entière.

« Nous voyons aussi de là que, si toute la sphère de l'air était pressée et comprimée contre la terre par une force qui, la poussant par le haut, la réduisît en bas à la moindre place qu'elle puisse occuper, et qu'elle la réduisît comme en eau, elle aurait alors la hauteur de 31 pieds seulement. On peut considérer toute la masse de l'air, de la même sorte que si elle eût été autrefois comme une masse d'eau de 31 pieds de haut, qui eût été raréfiée et dilatée extrêmement, et convertie en cet état où nous l'appelons air, auquel elle occupe, à la vérité, plus de place, mais auquel elle conserve précisément le même poids.

« Et comme il n'y aurait rien de plus aisé que de supputer combien l'eau qui environnerait toute la terre à 31 pieds pèserait de livres, et qu'un enfant pourrait le faire, on trouverait, par le même moyen, combien tout l'air de la nature pèse, puisque c'est la même chose; et si on en fait l'épreuve, on trouvera qu'il pèse à peu près huit millions de millions de millions de livres.

« J'ai voulu avoir ce plaisir, et j'en ai fait le compte en cette sorte : En multipliant le diamètre de la terre par la circonférence de son grand cercle, on trouve qu'elle a en toute sa superficie sphérique 16495200 lieues carrées.

« C'est-à-dire, 103095000000000 toises carrées.

« C'est-à-dire, 3711420000000000 pieds carrés.

« Et parce qu'un pied cube d'eau pèse 72 livres, il s'ensuit qu'un prisme d'eau d'un pied carré de base et de 31 pieds de haut pèse 2232 livres.

pression barométrique et la température: ajoutons la configuration des côtes, qui donne à l'action des vents et à celle de la marée un effet différent. Tout le monde sait que la mer monte plus vite qu'elle ne descend: quand les golfes sont resserrés, cet effet est plus prononcé : le long des côtes, la mer doit être plus haute qu'à une certaine distance.

Le niveau de la mer à Marseille est plus bas de 80 centimètres que le niveau moyen de l'Océan sur nos côtes. La Méditerranée doit être un plan incliné qui s'abaisse du détroit de Gibraltar jusqu'aux côtes de Syrie. Le dernier nivellement effectué en Égypte, de la Méditerranée à la mer Rouge, a montré que cette dernière est plus haute que la Méditerranée. Il est bien facile de voir que ces mers, recevant beaucoup moins d'eau qu'elles n'en laissent évaporer, doivent tendre à s'abaisser, et qu'elles ne s'alimentent que par les détroits qui les réunissent à l'Océan.

Ce premier tableau général du poids de l'air et de sa pression sur la surface sphérique du globe doit s'arrêter à cette esquisse. C'est en quelque sorte la statique. Nous arriverons bientôt à la dynamique. L'Atmosphère est sans cesse en mouvement, par ses déplacements partiels, horizontaux, verticaux et obliques, à la surface du globe. Il en résulte que le poids de l'air sur un lieu donné, ou la hauteur du baromètre, varie sans cesse. La chaleur solaire donne naissance à des *variations diurnes* et à des *variations mensuelles* régulières, dont l'intensité diffère suivant les latitudes. Le déplacement des grands courants donne naissance à des variations étendues sur une vaste échelle. Le changement de temps s'annonce par ces fluctuations liées à la pression générale.

Toutes ces variations dans la pression barométrique seront présentées et analysées dans notre septième Livre, qui couronnera cet ouvrage par l'exposé de l'état actuel des déductions de la science relatives au grand problème pratique de la prévision du temps.

A propos du poids général de l'Atmosphère, nous ne pouvons cependant clore ce chapitre sans signaler ce poids numérique lui-même.

Sous ce titre : *Combien pèse la masse entière de tout l'air qui est au monde*, Pascal a écrit, au moment où il s'adonnait à ses célèbres expériences sur la pression atmosphérique, un petit travail aussi simple que curieux, première ébauche de tout ce qui a été composé depuis sur ce sujet, et qui contient dès le principe la réponse absolue à la question que nous venons de souligner.

« Nous apprenons par ces expériences, dit-il, que l'air qui est sur

le niveau de la mer pèse autant que l'eau à la hauteur de 31 pieds 2 pouces; mais parce que l'air pèse moins sur les lieux plus élevés, et qu'ainsi il ne pèse pas sur tous les points de la Terre également, on ne peut pas prendre un pied fixe qui marque combien tous les lieux du monde sont chargés; mais on peut en prendre un par conjecture, bien approchant du juste : comme, par exemple, on peut faire état que tous les lieux de la terre en général, considérés comme également chargés d'air, le fort portant le faible, en sont autant pressés que s'ils portaient de l'eau à la hauteur de 31 pieds; et il est certain qu'il n'y a pas un demi-pied d'eau d'erreur en cette supposition.

« Or, nous avons vu que l'air qui est au-dessus des montagnes hautes de 500 toises pèse autant que l'eau à la hauteur de 26 pieds 11 pouces. Par conséquent, tout l'air qui s'étend depuis le niveau de la mer jusqu'au haut des montagnes hautes de 500 toises pèse à peu près la septième partie de la hauteur entière.

« Nous voyons aussi de là que, si toute la sphère de l'air était pressée et comprimée contre la terre par une force qui, la poussant par le haut, la réduisît en bas à la moindre place qu'elle puisse occuper, et qu'elle la réduisît comme en eau, elle aurait alors la hauteur de 31 pieds seulement. On peut considérer toute la masse de l'air, de la même sorte que si elle eût été autrefois comme une masse d'eau de 31 pieds de haut, qui eût été raréfiée et dilatée extrêmement, et convertie en cet état où nous l'appelons air, auquel elle occupe, à la vérité, plus de place, mais auquel elle conserve précisément le même poids.

« Et comme il n'y aurait rien de plus aisé que de supputer combien l'eau qui environnerait toute la terre à 31 pieds pèserait de livres, et qu'un enfant pourrait le faire, on trouverait, par le même moyen, combien tout l'air de la nature pèse, puisque c'est la même chose; et si on en fait l'épreuve, on trouvera qu'il pèse à peu près huit millions de millions de millions de livres.

« J'ai voulu avoir ce plaisir, et j'en ai fait le compte en cette sorte : En multipliant le diamètre de la terre par la circonférence de son grand cercle, on trouve qu'elle a en toute sa superficie sphérique 16495200 lieues carrées.

« C'est-à-dire, 103095000000000 toises carrées.

« C'est-à-dire, 3711420000000000 pieds carrés.

« Et parce qu'un pied cube d'eau pèse 72 livres, il s'ensuit qu'un prisme d'eau d'un pied carré de base et de 31 pieds de haut pèse 2232 livres.

pression barométrique et la température; ajoutons la configuration des côtes, qui donne à l'action des vents et à celle de la marée un effet différent. Tout le monde sait que la mer monte plus vite qu'elle ne descend; quand les golfes sont resserrés, cet effet est plus prononcé : le long des côtes, la mer doit être plus haute qu'à une certaine distance.

Le niveau de la mer à Marseille est plus bas de 80 centimètres que le niveau moyen de l'Océan sur nos côtes. La Méditerranée doit être un plan incliné qui s'abaisse du détroit de Gibraltar jusqu'aux côtes de Syrie. Le dernier nivellement effectué en Égypte, de la Méditerranée à la mer Rouge, a montré que cette dernière est plus haute que la Méditerranée. Il est bien facile de voir que ces mers, recevant beaucoup moins d'eau qu'elles n'en laissent évaporer, doivent tendre à s'abaisser, et qu'elles ne s'alimentent que par les détroits qui les réunissent à l'Océan.

Ce premier tableau général du poids de l'air et de sa pression sur la surface sphérique du globe doit s'arrêter à cette esquisse. C'est en quelque sorte la statique. Nous arriverons bientôt à la dynamique. L'Atmosphère est sans cesse en mouvement, par ses déplacements partiels, horizontaux, verticaux et obliques, à la surface du globe. Il en résulte que le poids de l'air sur un lieu donné, ou la hauteur du baromètre, varie sans cesse. La chaleur solaire donne naissance à des *variations diurnes* et à des *variations mensuelles* régulières, dont l'intensité diffère suivant les latitudes. Le déplacement des grands courants donne naissance à des variations étendues sur une vaste échelle. Le changement de temps s'annonce par ces fluctuations liées à la pression générale.

Toutes ces variations dans la pression barométrique seront présentées et analysées dans notre septième Livre, qui couronnera cet ouvrage par l'exposé de l'état actuel des déductions de la science relatives au grand problème pratique de la prévision du temps.

A propos du poids général de l'Atmosphère, nous ne pouvons cependant clore ce chapitre sans signaler ce poids numérique lui-même.

Sous ce titre : *Combien pèse la masse entière de tout l'air qui est au monde*, Pascal a écrit, au moment où il s'adonnait à ses célèbres expériences sur la pression atmosphérique, un petit travail aussi simple que curieux, première ébauche de tout ce qui a été composé depuis sur ce sujet, et qui contient dès le principe la réponse absolue à la question que nous venons de souligner.

« Nous apprenons par ces expériences, dit-il, que l'air qui est sur

le niveau de la mer pèse autant que l'eau à la hauteur de 31 pieds 2 pouces; mais parce que l'air pèse moins sur les lieux plus élevés, et qu'ainsi il ne pèse pas sur tous les points de la Terre également, on ne peut pas prendre un pied fixe qui marque combien tous les lieux du monde sont chargés; mais on peut en prendre un par conjecture, bien approchant du juste : comme, par exemple, on peut faire état que tous les lieux de la terre en général, considérés comme également chargés d'air, le fort portant le faible, en sont autant pressés que s'ils portaient de l'eau à la hauteur de 31 pieds; et il est certain qu'il n'y a pas un demi-pied d'eau d'erreur en cette supposition.

« Or, nous avons vu que l'air qui est au-dessus des montagnes hautes de 500 toises pèse autant que l'eau à la hauteur de 26 pieds 11 pouces. Par conséquent, tout l'air qui s'étend depuis le niveau de la mer jusqu'au haut des montagnes hautes de 500 toises pèse à peu près la septième partie de la hauteur entière.

« Nous voyons aussi de là que, si toute la sphère de l'air était pressée et comprimée contre la terre par une force qui, la poussant par le haut, la réduisît en bas à la moindre place qu'elle puisse occuper, et qu'elle la réduisît comme en eau, elle aurait alors la hauteur de 31 pieds seulement. On peut considérer toute la masse de l'air, de la même sorte que si elle eût été autrefois comme une masse d'eau de 31 pieds de haut, qui eût été raréfiée et dilatée extrêmement, et convertie en cet état où nous l'appelons air, auquel elle occupe, à la vérité, plus de place, mais auquel elle conserve précisément le même poids.

« Et comme il n'y aurait rien de plus aisé que de supputer combien l'eau qui environnerait toute la terre à 31 pieds pèserait de livres, et qu'un enfant pourrait le faire, on trouverait, par le même moyen, combien tout l'air de la nature pèse, puisque c'est la même chose; et si on en fait l'épreuve, on trouvera qu'il pèse à peu près huit millions de millions de millions de livres.

« J'ai voulu avoir ce plaisir, et j'en ai fait le compte en cette sorte : En multipliant le diamètre de la terre par la circonférence de son grand cercle, on trouve qu'elle a en toute sa superficie sphérique 16495200 lieues carrées.

« C'est-à-dire, 103095000000000 toises carrées.

« C'est-à-dire, 3711420000000000 pieds carrés.

« Et parce qu'un pied cube d'eau pèse 72 livres, il s'ensuit qu'un prisme d'eau d'un pied carré de base et de 31 pieds de haut pèse 2232 livres.

« Donc, si la Terre était couverte d'eau jusqu'à la hauteur de 31 pieds, il y aurait autant de prismes d'eau de 31 pieds de haut qu'elle a de pieds carrés en toute sa surface.

« Et partant elle porterait autant de 2232 livres d'eau qu'elle a de pieds carrés en toute sa surface.

« Donc cette masse d'eau entière pèserait 8 283 889 440 000 000 000 livres. Et tout l'air qui est au monde pèse ce même poids, c'est-à-dire huit millions de millions de millions, deux cent quatre-vingt-trois mille huit cent quatre-vingt-neuf millions de millions, quatre cent quarante mille millions de livres. »

Ce curieux calcul de Pascal n'est pas essentiellement modifié par les mesures contemporaines. Nous pouvons arriver à la même détermination par un autre procédé.

La pression atmosphérique est de 1 kilog. 33 grammes par centimètre carré, ou de 103 kilog. par décimètre carré, ou de 10330 kilog. par mètre carré.

Une surface de 10 mètres carrés, supportant un poids d'air cent fois plus grand que le précédent, représente 1 033 000 kilog. Une surface de 100 mètres carrés supporte 103 300 000; et une surface de 1000 mètres carrés 10 330 000 000 : dix milliards 330 millions de kilog. d'air.

Or la surface totale de la terre est d'environ 510 millions de kilomètres carrés. En multipliant le nombre précédent par 510 millions, on obtient le poids colossal de 5 quintillions 268 quatrillions de kilogrammes. A cause des plateaux qui s'élèvent sensiblement au-dessus du niveau de la mer, nous devons admettre 5 quintillions (Pascal n'avait trouvé que 4 quintillions). C'est le poids réel de toute l'atmosphère terrestre.

Le poids de la Terre étant de 5 875 000 quintillions de kilog. on voit que le poids de l'Atmosphère est à peu près la millionième partie du poids de la planète, ou, plus exactement, la onze cent millième partie.

Si toute cette masse d'air se trouvait agglomérée en une seule boule, elle pèserait autant qu'une boule de cuivre massive de près de 100 kilomètres de diamètre, ou de 75 lieues de tour !

On voit que le poids de l'air est loin d'être insignifiant, et nous concevrons facilement plus tard les terribles ravages du vent et des ouragans dont nous aurons à nous entretenir.

CHAPITRE V.

COMPOSITION CHIMIQUE DE L'AIR.

C'est au grand chimiste français Lavoisier que la science est redevable de la découverte de la composition chimique de l'air.

Remontons directement aux recherches de ce laborieux observateur, et écoutons de sa propre bouche le résumé de ses curieuses études.

Notre atmosphère, remarque-t-il, doit être formée de la réunion de toutes les substances susceptibles de demeurer dans l'état aériforme au degré habituel de température et de pression que nous éprouvons. Ces fluides forment une masse de nature à peu près homogène, depuis la surface de la Terre jusqu'à la plus grande hauteur à laquelle on soit encore parvenu, et dont la densité décroît en raison inverse des poids dont elle est chargée ; mais il est possible que cette première couche soit recouverte d'une ou de plusieurs autres, de fluides très-différents.

Quel est le nombre et quelle est la nature des fluides élastiques qui composent cette couche inférieure que nous habitons ?

Après avoir établi que la chimie présente deux méthodes essentielles pour l'étude des corps, savoir l'analyse et la synthèse, Lavoisier décrit comme il suit sa fameuse expérience de la première analyse de l'air :

J'ai pris un matras (fig. 19) de 36 pouces cubiques environ de capacité, dont le col était très-long et avait 6 à 7 lignes de grosseur intérieurement. Je l'ai courbé, comme on le voit représenté (fig. 20), de manière qu'il pût être placé dans un fourneau M, tandis que l'extrémité *e* de son col irait s'engager sous la cloche G, placée dans le bain de mercure. J'ai introduit dans ce matras 4 onces de mercure très-pur, puis, en suçant avec un siphon que j'ai introduit sous la cloche G,

j'ai élevé le mercure jusqu'en L; j'ai marqué soigneusement cette hauteur avec une bande de papier collé, et j'ai observé exactement le baromètre et le thermomètre.

Les choses ainsi préparées, j'ai allumé du feu dans le fourneau, et je l'ai entretenu presque continuellement pendant douze jours, de manière que le mercure fût échauffé jusqu'au degré nécessaire pour le faire bouillir.

Il ne s'est rien passé de remarquable pendant tout le premier jour : le mercure, quoique non bouillant, était dans un état d'évaporation continuelle, il tapissait l'intérieur des vaisseaux de gouttelettes, d'abord très-fines, qui allaient ensuite en augmentant, et qui, lorsqu'elles avaient acquis un certain volume, retombaient d'elles-mêmes au fond du vase et se réunissaient au reste du mercure. Le second jour, j'ai commencé à voir nager à la surface du mercure de petites parcelles rouges, qui pendant quatre ou cinq jours ont augmenté en nombre et en volume, après quoi elles ont cessé de grossir et sont restées absolument dans le même état. Au bout de douze jours, voyant que la calcination du mercure ne faisait plus aucun progrès, j'ai éteint le feu et j'ai laissé refroidir les vaisseaux. Le volume de l'air

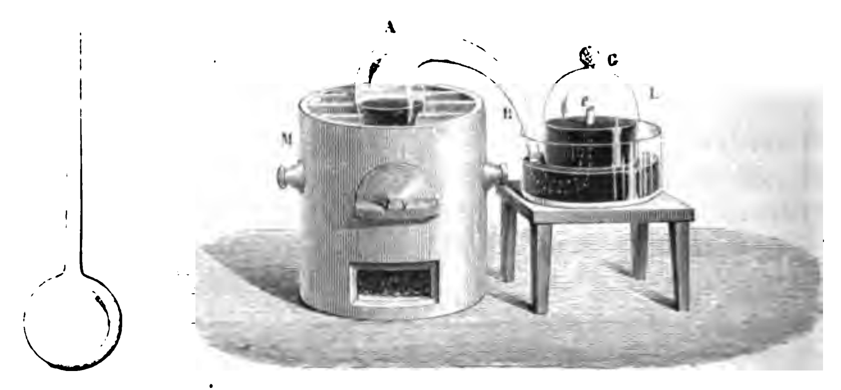


Fig. 19. — Le matras, Fig. 20. — L'appareil.

contenu tant dans le matras que dans son col et sous la partie vide de la cloche était, avant l'opération, de 50 pouces cubiques environ. Lorsque l'évaporation a été finie, ce même volume, à pression et à température égales, ne s'est plus trouvé que de 42 à 43 pouces; il y avait eu, par conséquent, une diminution de volume d'un sixième environ. D'un autre côté, ayant rassemblé soigneusement les parcelles rouges qui s'étaient formées, et les ayant séparées, autant qu'il était possible, du mercure coulant dont elles étaient baignées, leur poids s'est trouvé de 45 grains.

L'air qui restait après cette opération, et qui avait été réduit aux cinq sixièmes de son volume par la calcination du mercure, n'était plus propre à la respiration ni à la combustion; car les animaux qu'on y introduisait y périssaient en peu d'instant, et les lumières s'y éteignaient sur-le-champ, comme s'y on les eût plongées dans l'eau.

D'un autre côté, j'ai pris les 45 grains de matière rouge qui s'était formée pendant l'opération, je les ai introduits dans une très-petite cornue de verre à laquelle était adapté un appareil propre à recevoir les produits liquides et aériformes qui pourraient se séparer; ayant allumé du feu dans le fourneau, j'ai observé qu'à mesure que la matière rouge était échauffée, sa couleur augmentait d'intensité. Lorsque ensuite la cornue a approché de l'incandescence, la matière rouge a commencé à perdre peu à peu de son volume, et en quelques minutes elle a entièrement disparu; en même temps, il s'est condensé dans le petit récipient 41 grains 1/2 de mercure coulant, et il a passé sous la cloche 7 à 8 pouces cubiques d'un fluide élas-



Fig. 21. — Lavoisier analysant l'air atmosphérique.

tique beaucoup plus propre que l'air de l'atmosphère à entretenir la combustion et la respiration des animaux.

Ayant fait passer une portion de cet air dans un tube de verre d'un pouce de diamètre, et y ayant plongé une bougie, elle y répandait un éclat éblouissant; le charbon, au lieu de s'y consumer paisiblement comme dans l'air ordinaire, y brûlait avec flamme et crépitation, à la manière du phosphore, et avec une vivacité de lumière que les yeux avaient peine à supporter. Cet air que nous avons découvert presque en même temps, M. Priestley, M. Schéele et moi, a été nommé, par le premier, air déphlogistiqué; par le second, air empyrial. Je lui avais d'abord donné le nom d'*air éminemment respirable;* depuis on y a substitué celui d'*air vital.*

En réfléchissant sur les circonstances de cette expérience, on voit que le mercure, en se calcinant, absorbe la partie salubre et respirable de l'air, ou, pour parler d'une manière plus rigoureuse, la base de cette partie respirable; que la portion d'air qui reste est une espèce de mofette incapable d'entretenir la combustion et la respiration; l'air de l'atmosphère est donc composé de deux fluides élastiques de nature différente et pour ainsi dire opposée.

Une preuve de cette importante vérité, c'est qu'en recombinant les deux fluides élastiques qu'on a ainsi obtenus séparément, c'est-à-dire les 42 pouces cubiques de mofette ou air non respirable et les 48 pouces cubiques d'air respirable, on reforme de l'air en tout semblable à celui de l'atmosphère, et qui est propre, à peu près au même degré, à la combustion, à la calcination des métaux et à la respiration des animaux....

Arrivant plus loin aux dénominations à donner aux substances découvertes, Lavoisier ajoute :

La température de la planète que nous habitons se trouvant très-voisine du degré où l'eau passe de l'état liquide à l'état solide, et réciproquement, et ce phénomène s'opérant fréquemment sous nos yeux, il n'est pas étonnant que, dans toutes les langues, au moins dans les climats où l'on éprouve une sorte d'hiver, on ait donné un nom à l'eau devenue solide par l'absence du calorique.

Nous n'avons pas jugé qu'il nous fût permis de changer des noms reçus et consacrés dans la société par un antique usage. Nous avons donc attaché aux mots d'*eau* et de *glace* leur signification vulgaire; nous avons de même exprimé par le mot d'*air* la collection des fluides élastiques qui composent notre atmosphère.

C'est principalement du grec que nous avons tiré les mots nouveaux, et nous avons fait en sorte que leur étymologie rappelât l'idée des choses que nous nous proposions d'indiquer; nous nous sommes surtout attaché à n'admettre que des mots courts et, autant qu'il était possible, qui fussent susceptibles de former des adjectifs et des verbes.

D'après ces principes, nous avons conservé le nom de *gaz*, employé par Van-Helmont, et nous avons rangé sous cette dénomination la classe nombreuse des fluides élastiques aériformes.

L'air de l'atmosphère est principalement composé de deux fluides aériformes ou gaz: l'un respirable, susceptible d'entretenir la vie des animaux, dans lequel les métaux se calcinent et les corps combustibles peuvent brûler; l'autre, qui a des propriétés absolument opposées, que les animaux ne peuvent respirer, qui ne peut entretenir la combustion, etc. Nous avons donné à la base de la portion respirable de l'air le nom d'*oxygène*, en le dérivant des deux mots grecs ὀξύς, *acide*, γείνομαι, *j'engendre*, parce qu'en effet une des propriétés les plus générales de cette base est de former des acides en se combinant avec la plupart des substances. Nous appellerons donc Oxygène la réunion de cette base avec le calorique. Sa pesanteur dans cet état est assez exactement d'un demi-grain poids de marc par pouce cube, ou d'une once et demie par pied cube, le tout à 10 degrés de température et à 28 ouces du baromètre.

Les propriétés chimiques de la partie non respirable de l'air de l'atmosphère n'étant pas encore très-bien connues, nous nous sommes contenté de déduire le nom de sa base de la propriété qu'a ce gaz de priver de la vie les animaux qui le respirent, nous l'avons donc nommé *azote*, de l'α privatif des Grecs, et de ζωή, *vie*; ainsi, la partie non respirable de l'air sera le gaz azotique. Sa pesanteur est de 1 once 2 gros 48 grains le pied cube, ou de 0 grain, 4444 le pouce cube[1].

La nature de l'air était donc établie nettement par ces expériences, qui sont de l'année 1777. Sa véritable composition, toutefois, ne fut connue complétement que dans notre siècle.

La première analyse exacte de l'air remonte à cinquante ans à



Fig. 22. — Eudiomètre à mercure, pour l'analyse de l'air.

peine, et elle est due à Gay-Lussac et Humboldt, qui l'exécutèrent par l'hydrogène au moyen de l'*eudiomètre*.

Lorsqu'on opère la combustion d'un mélange de volumes égaux d'air et d'hydrogène pur, dans l'eudiomètre à mercure, tout l'oxygène disparaît sous forme d'eau qui se condense en rosée, dont le volume est négligeable, et il reste un mélange formé d'azote et de l'excès d'hydrogène employé ; or l'hydrogène fait disparaître, à l'état d'eau, un volume d'oxygène égal à la moitié du sien. Il suit de là que le volume de l'oxygène contenu dans l'air mesuré est égal au tiers du volume disparu. Si la mesure de l'air, de l'hydrogène, puis des gaz après l'explosion, est faite à la même pression et à la même température; si, de plus, les gaz étaient saturés

1. *OEuvres de Lavoisier*. Édition du ministère, tome I.

d'humidité avant l'explosion, les déterminations faites ne comporteront aucune correction. Tel est le principe de la méthode.

Gay-Lussac et Humboldt trouvèrent en volume 21 pour 100 d'oxygène et 79 d'azote. Cette analyse a été reprise depuis par presque tous les chimistes, dans le but d'étudier les modifications que la vie des animaux et des végétaux peut apporter dans la composition de l'air, et de mieux connaître toutes les substances qui s'y trouvent mêlées.

Une autre méthode a été imaginée par MM. Dumas et Boussingault. Elle permet de *peser* les quantités relatives d'oxygène et d'azote que contient l'air atmosphérique, ce qui donne des résul-

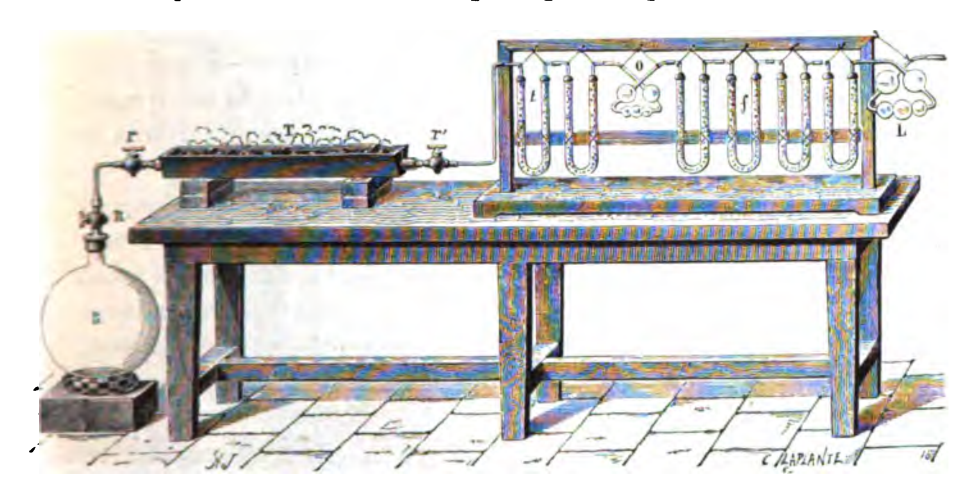


Fig. 23. — Appareil pour l'analyse de l'air par la méthode des pesées.

tats beaucoup plus exacts que la mesure des volumes, toujours très-petits, des gaz employés dans les autres méthodes. L'appareil dont on fait usage se compose : 1° d'un tube allant puiser l'air hors de la chambre où l'on opère; 2° d'un appareil à boules L de Liebig, contenant une dissolution concentrée de potasse caustique; 3° d'un tube *f*, ayant la forme de plusieurs U et rempli de fragments de potasse caustique; 4° d'un second appareil à boules O, contenant de l'acide sulfurique concentré; 5° d'un second tube *l* de même forme que le précédent, rempli de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique concentré; 6° d'un tube droit T, en verre réfractaire; ce tube est rempli de tournure de cuivre et est déposé sur un fourneau long en tôle, de manière à pouvoir être chauffé dans toute sa longueur; il porte en outre à ses extrémités deux robinets *r* et *r'*, qui permettent d'y faire le vide; 7° d'un ballon de verre B, de

10 à 15 litres de capacité, et dont le col est muni d'un robinet R. Cela posé, on fait le vide aussi complétement que possible dans le tube T; on ferme les deux robinets r et r', puis on pèse ce tube ainsi vide d'air. On fait ensuite le vide dans le ballon B, que l'on pèse également.

On ajoute alors l'appareil dans l'ordre où nous l'avons décrit, et l'on chauffe au rouge le tube T. Puis on ouvre successivement les robinets r, r' du tube et le robinet R du ballon. L'air, entrant par le tube aspirateur de droite, traverse d'abord l'appareil à boules L et le tube f, où il se dépouille de son acide carbonique; puis il passe dans le second appareil à boules O et dans le tube l, où il abandonne à l'acide sulfurique la totalité de sa vapeur d'eau. Ainsi débarrassé de son acide carbonique et de sa vapeur d'eau, l'air arrive dans le tube T, qui contient le cuivre chauffé au rouge; il abandonne alors son oxygène au métal, et se précipite dans le ballon vide à l'état d'azote pur.

L'augmentation de poids que le tube a subie donne évidemment le poids de l'oxygène qui s'est fixé sur le cuivre; la différence entre le poids du ballon vide et le poids du ballon plein d'azote représente évidemment aussi le poids de ce gaz. C'est au moyen de cette analyse, faite avec toutes les précautions convenables, que MM. Dumas et Boussingault ont constaté que 100 parties d'air contiennent:

Oxygène,	23	en poids;	20,8	en volume.
Azote,	77	—	79,2	—

La différence que l'on remarque entre le rapport des volumes et le rapport des poids tient à ce qu'à poids égal l'oxygène pèse un peu plus que l'azote.

Ainsi, voilà les deux éléments fondamentaux de la constitution chimique de l'air. Mais il y a encore dans l'air d'autres éléments, en quantité beaucoup plus petite : tels sont d'abord l'acide carbonique et la vapeur d'eau.

Leur quantité se détermine par l'appareil de M. Boussingault (fig. 24). Un vase en tôle est rempli d'eau, et se vide par le robinet situé à sa partie inférieure. L'eau qui s'écoule est remplacée à mesure par de l'air provenant du dehors, mais qui ne peut arriver au réservoir qu'après avoir traversé six tubes recourbés. Les deux premiers tubes à traverser sont remplis de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique, et l'air en les traversant y laisse son humidité. Les deux tubes du milieu sont remplis d'une dissolution concentrée

de potasse, qui prend à son tour l'acide carbonique. Des deux derniers tubes, contenant de la pierre ponce imbibée d'acide sulfurique, l'avant-dernier est destiné à retirer l'humidité prise à la potasse par l'air, et le dernier à empêcher l'humidité de rebrousser chemin de l'aspirateur dans les tubes. En pesant avant, puis après l'expérience, les séries de tubes analysateurs, on obtient le poids de l'*eau* et le poids de l'*acide carbonique* contenus dans un volume d'air égal au volume du réservoir.

*L'*atmosphère contient environ 4 dix-millièmes de son volume d'acide carbonique.

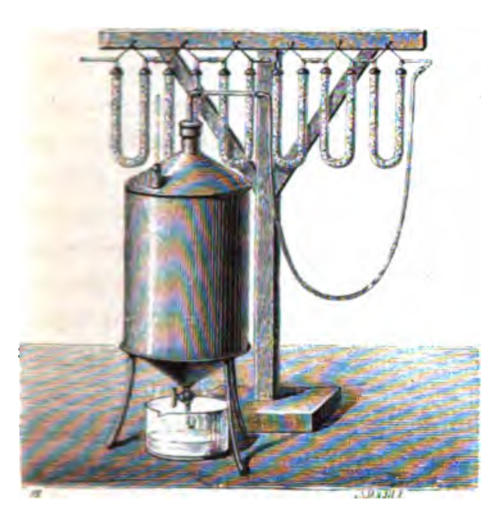


Fig. 24. — Appareil pour doser l'acide carbonique de l'air.



Fig. 25. — Appareil pour séparer l'oxygène de l'azote.

On peut encore faire l'analyse de l'air, et séparer l'oxygène de l'azote par un procédé très-simple.

Dans un tube gradué contenant un certain volume d'air, mesuré sur l'eau ou sur le mercure, on introduit un long bâton de phosphore. Au bout de 6 ou 7 heures, généralement, l'oxygène est absorbé, et l'on peut retirer le bâton de phosphore et mesurer le gaz qui reste, c'est-à-dire l'azote. — L'absorption est jugée complète (l'appareil étant porté dans l'obscurité) lorsqu'on ne voit plus de lueurs à la surface du bâton de phosphore.

On peut déterminer l'absorption rapide de l'oxygène par le phosphore en chauffant le gaz dans une cloche courbe dans laquelle on a introduit un fragment de phosphore ; on chauffe le phosphore avec une lampe à alcool ; il s'allume, on volatilise une partie du

phosphore, et lorsque la flamme a parcouru toute la partie occupée par le gaz, l'expérience est terminée. On laisse refroidir, on transvase dans un tube gradué et on mesure le volume de l'azote; par différence avec le volume primitif on a l'oxygène.

L'oxygène et l'azote sont deux *gaz permanents*, c'est-à-dire que l'on n'a pu jusqu'à ce jour, ni par le froid ni par la compression, leur faire perdre leur forme gazeuse. Le premier, l'oxygène, est l'agent ordinaire des combustions, qu'elles aient lieu dans nos foyers ou dans l'intimité de nos organes. Le second, au contraire, est le modérateur du premier.

L'acide carbonique, qui existe en quantités variables suivant les temps et les lieux, mais toujours très-faibles, a pu être liquéfié sous une forte pression aidée d'un froid très-vif; il a pu même être solidifié. Il présente alors l'aspect d'une neige légère et très-compressible, dont le contact avec la peau produit l'effet d'une brûlure : l'épiderme est désorganisé par ce froid excessif comme par la chaleur. Aux doses minimes où il se trouve généralement dans l'air, l'acide carbonique est sans inconvénient; à des doses plus fortes, il nuit à la respiration et finit par produire l'asphyxie.

Les émanations, les sources abondantes de gaz acide carbonique se rencontrent fréquemment dans les contrées volcaniques.

Lorsque M. Boussingault explora les cratères de l'équateur, on lui signala une localité où les animaux ne pouvaient rester impunément: c'est le Tunguravilla, situé à peu de distance du volcan de Tunguragua, et que le chimiste visita en décembre 1831. « Nos chevaux, dit-il dans sa relation, nous indiquèrent bientôt que nous approchions; ils n'obéissaient plus à l'éperon, levaient la tête par saccades et de la manière la plus déplaisante pour le cavalier. La terre était jonchée d'oiseaux morts, parmi lesquels se trouvait un magnifique coq de bruyère que nos guides s'empressèrent de ramasser. Il y avait aussi dans les asphyxiés plusieurs reptiles et une multitude de papillons. La chasse fut bonne, le gibier ne parut pas trop faisandé. Un vieil Indien Quichua, qui nous accompagnait, assurait que lorsqu'on voulait dormir longtemps et paisiblement, il fallait faire son lit sur le Tunguravilla. »

Cette émanation délétère se manifeste par la stérilité dont le sol est frappé sur une étendue de quelques centaines de mètres carrés; elle était surtout très-intense sur un point où l'on voyait plusieurs grands arbres renversés, desséchés et presque enfouis dans la terre végétale, ce qui implique que ces arbres avaient vécu là où ils sont tombés depuis l'éruption du gaz acide carbonique. Ce gaz, comme

celui que l'on rencontre semblablement en diverses régions du globe, est de l'acide carbonique plus ou moins mélangé d'air, selon la distance à laquelle il est pris au-dessus du sol.

L'acide carbonique exerce une action directe et délétère sur les nerfs et le cerveau; de là les effets anesthésiques qu'il peut produire, et que tous les voyageurs ont pu observer dans une grotte devenue célèbre précisément par ce caractère : la grotte du Chien à *Pouzzoles*, près de Naples.

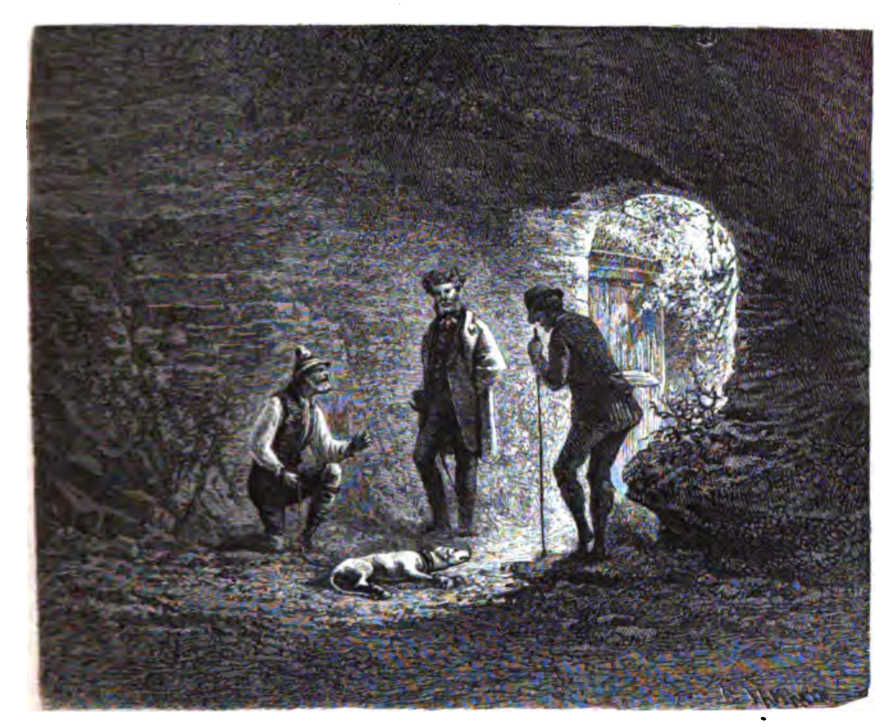


Fig. 26. — La grotte du Chien.

Le gardien a un chien dont il lie les pattes pour l'empêcher de fuir et qu'il dépose au milieu de la grotte. L'animal manifeste une vive anxiété, se débat et paraît bientôt expirant; son maître l'emporte alors au dehors et l'expose au grand air. Peu à peu l'animal revient à la vie, et l'un de ces chiens a fait ce service pendant plus de trois ans. Il est à peu près prouvé aujourd'hui que les convulsions des pythies chargées de faire connaître les décrets des dieux étaient produites par les prêtres au moyen du gaz carbonique.

Cette grotte est située sur le penchant d'une petite montagne extrêmement fertile, en face et à peu de distance du lac d'Agnano.

L'entrée en est fermée par une porte dont un gardien a la clef. La grotte a l'apparence et la forme d'un petit cabanon dont les parois et la voûte seraient grossièrement taillées dans le rocher. Sa largeur est d'environ un mètre, sa profondeur de trois mètres, sa hauteur d'un mètre et demi. Il serait difficile de juger par son aspect si elle est l'œuvre de l'homme ou de la nature. Le sol de cette petite caverne est terreux, humide, noir, parfois brûlant. Il est en quelque sorte baigné par un brouillard blanchâtre, dans lequel on distingue de petites bulles. Ce nuage est formé de gaz acide carbonique que colore un peu de vapeur d'eau. La couche de gaz a une hauteur de vingt à soixante centimètres. Elle représente donc un plan incliné, dont la plus grande hauteur correspond à la partie la plus profonde de la grotte. C'est là une conséquence toute physique de la disposition du sol. L'aire de la grotte étant à peu près au même niveau que l'ouverture extérieure, le gaz trouve une issue au dehors par le seuil de la porte, et coule comme un ruisseau le long du sentier de la montagne. On peut suivre le courant à une assez grande distance. Par un temps calme, une bougie qu'on y plonge s'éteint à plus de deux mètres extérieurement au-dessous de l'entrée.

Un chien meurt dans la grotte au bout de trois minutes, un chat en quatre minutes, les lapins en soixante-quinze secondes. Un homme y périt en moins de dix minutes, quand il est couché horizontalement sur ce sol funèbre. On raconte que l'empereur Tibère y fit enchaîner deux esclaves qui périrent aussitôt, et que Pierre de Tolède, vice-roi de Naples, y fit enfermer deux condamnés qui eurent le même sort.

Deux analyses de l'air de cette grotte recueilli à deux époques différentes ont donné en volume (Ch. Ste-Cl. Deville et F. Le Blanc) :

Acide carbonique	67.1	73.6
Oxygène	6.5	5.3
Azote	26 4	21.1
	100.0	100.0

Du reste, il n'est pas besoin d'aller aussi loin pour trouver cette prédominance de l'acide carbonique. Il y a près de Paris, à Montrouge et dans les environs, des carrières abandonnées, des caves mêmes qui se remplissent, à certaines époques, de ce gaz méphitique.

Il existe sur les bords du lac Laacher, près du Rhin, et près d'Aigueperse, en Auvergne, deux sources d'acide carbonique d'une

abondance telle qu'elles produisent des accidents en pleine campagne. Le gaz sort de petits enfoncements de terrain sur les bords desquels la végétation est très-belle : les insectes, les petits animaux attirés par la richesse de la verdure viennent s'y mettre à couvert et tombent asphyxiés; leurs cadavres attirent les oiseaux, qui périssent également; enfin arrivent des bergers du voisinage qui, connaissant le danger, retirent de loin ces animaux et font ainsi sans frais une chasse souvent fructueuse.

Au moyen âge, les accidents que ce gaz amenait dans les caves, dans les mines, dans les puits même, avaient donné naissance aux fables les plus extravagantes. Ces localités étaient, disait-on, hantées par des démons, des gnomes, ou par des génies, gardant des trésors souterrains, dont le regard seul produisait la mort; car c'était en vain qu'on cherchait des lésions, des plaies, des marques quelconques sur les malheureux frappés d'une manière aussi soudaine.

Outre l'oxygène, l'azote et l'acide carbonique, l'air renferme un certain nombre d'autres substances, en quantité plus faible, et d'ailleurs très-variable.

La plus importante est la *vapeur d'eau*, dont nous venons déjà de parler à propos de la méthode d'analyse susceptible de la déterminer. L'air contient en tout temps, en tous lieux une certaine proportion de vapeur aqueuse en dissolution, à l'état invisible; lorsque cette eau passe à l'état particulier que l'on appelle vésiculaire, elle constitue les nuages ou les brouillards.

Cette quantité de vapeur d'eau est variable, suivant les saisons, la température, l'altitude, la situation géographique, etc. Pour une même température et une même pression, la quantité maximum tenue en dissolution dans l'air est invariable. L'état hygrométrique de l'air, pour une température déterminée, n'est autre chose que le rapport entre la quantité d'humidité existant réellement dans l'air et celle qui y existerait si l'air était saturé à cette même température.

Les millions de mètres cubes de vapeur d'eau qui, charriés dans l'air, forment les nuages et les pluies constituent l'élément le plus important de l'Atmosphère au point de vue de la circulation de la vie. Aussi l'*eau* sera-t-elle plus loin l'objet d'études toutes spéciales dans ce livre sur l'*air*.

On a pu déterminer la quantité de calorique employé à évaporer les eaux à la surface de la terre. L'évaporation qui se produit annuellement peut être représentée par le volume d'eau météorique

qui tombe de l'Atmosphère pendant le même laps de temps. Or, en rapprochant les résultats des observations faites à différentes latitudes et dans les deux hémisphères, on est amené à fixer ce volume au chiffre de 703 435 kilomètres cubes! ce qui équivaut à une couche d'eau de l'épaisseur de $1^m,379$ qui couvrirait la terre. La quantité de chaleur enlevée ainsi suffirait, suivant M. Daubrée, à liquéfier une couche de glace de $10^m,70$ d'épaisseur enveloppant le globe tout entier.

D'après les calculs de Dalton, l'Atmosphère renferme environ 0,0142 parties de son poids d'eau; les couches supérieures en sont presque totalement privées.

Quelles sont les substances que l'Atmosphère renferme encore dans son sein?

Elle contient incontestablement de petites quantités d'*ammoniaque*, en partie à l'état de carbonate d'ammoniaque, en partie peut-être aussi à l'état d'azotate ou même d'azotite d'ammoniaque. L'origine de cette ammoniaque doit être évidemment attribuée surtout à la décomposition des matières végétales et animales; et sa présence dans l'air a une importance toute particulière au point de vue des phénomènes de la végétation et de la statique chimique des plantes. Plusieurs chimistes se sont occupés d'en déterminer la proportion exacte. Elle ne paraît pas dépasser quelques millionièmes du volume d'air.

La quantité d'ammoniaque trouvée dans les eaux est, en poids:

Dans les eaux pluviales..............	0,0000008
Dans les eaux des rivières............	0,0000002
Dans les eaux de sources............	0,0000001

On a trouvé dans l'eau de la mer de 2 à 5 dixièmes de milligramme d'ammoniaque par litre. C'est une proportion assez faible, sans doute; mais si l'on réflechit que l'Océan recouvre plus des trois quarts du globe, et si l'on envisage sa masse, il est permis de le considérer comme un immense réservoir de sels ammoniacaux, où l'Atmosphère réparerait les pertes qu'elle éprouve continuellement.

Les fleuves portent d'ailleurs à la mer de prodigieuses quantités de matières ammoniacales. Je rapporterai un seul fait. D'après M. l'ingénieur Desfontaines, le Rhin, à Lauterbourg, débite, lors des eaux moyennes, 1106 mètres cubes par seconde. Un litre de cette eau contient au minimum 0 millième 17 d'ammoniaque. Il en résulte qu'en vingt-quatre heures le Rhin, en passant devant

Lauterbourg, entraîne dans ses eaux au moins 16 245 kilogrammes d'ammoniaque, c'est-à-dire certainement plus de 6 millions de kilogrammes par année!

L'Atmosphère incessamment reconstituée dans ses principes actuellement invariables par le travail immense des êtres vivants qui, semblables à autant de soufflets chimiques, agissent sans trêve au fond de l'océan aérien, est le théâtre de modifications chimiques accidentelles qui ont leur part dans l'organisation générale. Nous voyons jaillir du sol des vapeurs aqueuses, des effluves de gaz acide carbonique, presque toujours sans mélange d'azote; du gaz hydrogène sulfuré, des vapeurs sulfureuses, plus rarement des vapeurs d'acide sulfureux ou d'acide hydrochlorique; enfin du gaz hydrogène carboné, dont on se sert, depuis des milliers d'années, chez différents peuples, pour l'éclairage et le chauffage.

De toutes ces émanations gazéiformes, les plus nombreuses et les plus abondantes sont celles d'acide carbonique, qu'on nomme aussi *mofettes*. Aux époques antérieures, la chaleur plus forte du globe et le nombre considérable de failles que les roches ignées n'avaient pas encore comblées, favorisèrent puissamment ces émissions; de grandes quantités de vapeur d'eau chaude et de ce gaz se mêlèrent au fluide aérien et produisirent cette végétation exubérante de charbon de terre et de lignites, sources presque inépuisables de force physique pour les nations. L'énorme quantité d'acide carbonique dont la combinaison avec la chaux a produit les roches calcaires, sortit alors du sein de la terre, sous l'influence prédominante des forces volcaniques. Ce que les terres alcalines ne purent absorber se répandit dans l'air, où les végétaux de l'ancien monde puisèrent incessamment. Alors aussi, d'abondantes émissions d'acide sulfurique en vapeur ont amené la destruction des mollusques et des poissons, et formé les couches de gypse. A. de Humboldt ajoute que l'introduction du carbonate d'ammoniaque dans l'air est probablement antérieure à l'apparition de la vie organique sur la surface du globe.

Outre les vapeurs ammoniacales, l'Atmosphère contient encore des traces non insignifiantes d'acide *azotique* et d'acide *azoteux*. Plusieurs observateurs ont aussi démontré, surtout dans les grandes villes, la présence d'une petite quantité d'un *principe hydrogéné* et probablement carburé. M. Boussingault a le premier constaté par des expériences précises, dans l'air de Lyon, la présence d'un gaz ou d'une vapeur hydrogénée dont la teneur en hydrogène atteignait au maximum 0,0001 dans une partie d'air en volume.

L'analyse y a décelé aussi une quantité variable d'*iode*.

La disparition ou la presque disparition de l'iode dans l'air ou dans les eaux de certains pays montagneux serait, suivant M. Chatin, liée avec l'existence du goître chez les habitants de ces contrées. Les conclusions de ce savant ont été généralement accueillies avec une certaine incrédulité par les chimistes. Cependant si l'on considère que les eaux pluviales recueillies dans les *pluviomètres* contiennent des sels assez variés provenant du lavage des poussières en suspension dans l'atmosphère, et que des chimistes exercés ont souvent constaté la présence de l'iode dans les eaux pluviales, on pourra accorder sans difficulté que la présence de l'iode libre ou combiné peut être admise, sinon comme normale, au moins comme accidentelle dans l'air.

Nous arrivons maintenant au dernier élément constaté dans l'Atmosphère par des études toutes spéciales, à l'*ozone*.

Vers 1780, Van Marum se servant de puissantes machines électriques excita dans un tube plein d'oxygène un grand nombre d'étincelles de près de 15 centimètres de longueur. Après en avoir fait passer dans le tube 500 environ, il reconnut que le gaz avait pris une odeur très-forte qui, dit-il, « parut être très-clairement l'odeur de la matière électrique. » Tout le monde sait, en effet, que si la foudre tombe quelque part, elle laisse ce qu'on appelle vulgairement une odeur de soufre. Van Marum reconnut aussi que le gaz possédait après l'expérience la propriété d'oxyder le mercure à froid. Soixante ans après, en 1839, M. Schœnbein, professeur à Bâle, informait l'Académie des sciences de Munich qu'ayant décomposé l'eau par la pile, il avait été frappé de l'odeur du gaz dégagé au pôle positif. Après quelques recherches, il conclut qu'un corps simple nouveau se trouvait mis en évidence par son expérience, et il l'appela ozone, de ὄζω (émettre une odeur). Un grand nombre de mémoires furent successivement présentés sur la question par différents savants.

L'ozone est intéressant au point de vue chimique, tant par sa nature que par ses affinités énergiques ; il oxyde en effet directement l'argent et le mercure, du moins quand ces métaux sont humides ; il chasse l'iode de l'iodure de potassium, et forme avec le métal un oxyde sans doute plus oxygéné que la potasse. Les hydracides lui cèdent leur hydrogène. Les sels de magnésie se décomposent par son contact avec formation de peroxyde. Le chlore, le brome, l'iode passent, au moyen de l'ozone, à l'état d'acide chlorique, bromique, iodique, pourvu qu'ils soient humides.

Cet agent excite les poumons, provoque la toux, la suffocation, et présente tous les caractères d'une substance toxique.

Malgré toutes les recherches faites sur l'ozone, sa connaissance au point de vue physique et chimique laisse encore beaucoup à désirer : ce que l'on comprendra facilement si l'on pense que par les moyens les plus parfaits on ne peut transformer que 1/1300 d'une masse d'oxygène en ozone libre; parvenue à ce maximum, l'action cesse. Comment étudier un corps forcément répandu dans au moins 1300 fois son volume d'un autre gaz?

On a songé à adjoindre aux observations météorologiques ordinaires, des observations ozonoscopiques ou même ozonométriques. Parmi les expérimentateurs qui ont suivi cette voie, il faut citer MM. Schœnbein, Bérigny, Pouriau, Bœckel, Houzeau et Scoutetten.

Pour ses observations, M. Schœnbein fait bouillir 1 partie d'iodure de potassium, 10 parties d'amidon et 200 parties d'eau, puis il y trempe du papier Joseph. On sèche dans un appartement clos, puis l'on découpe en bandelettes. Ce papier bleuit au contact de l'ozone, car l'iode est mis en liberté et réagit sur l'amidon; mais l'intensité de la teinte dépend de la quantité d'oxygène ozonisé. On expose chaque jour pendant douze heures une bandelette à l'air libre, à l'abri des rayons solaires et de la pluie, puis l'on compare sa teinte à une échelle de dix couleurs, allant depuis le blanc jusqu'à l'indigo.

En 1851, MM. Marignac et de la Rive se livrèrent, sur l'ozone, à de nombreuses recherches expérimentales, et ils en conclurent que cette substance doit être simplement de l'oxygène dans un état particulier d'activité chimique déterminé par l'électricité. Berzelius et Faraday se rangèrent à l'opinion des physiciens genevois; MM. Frémy et Becquerel, en 1852, démontrèrent, par de nouvelles expériences, la légitimité de cette explication.

Les travaux de Thomas Andrews, publiés en 1855, ne laissent aucun doute à cet égard. L'ozone, de quelque source qu'il dérive, est un seul et même corps, ayant des propriétés identiques et la même constitution, et ce n'est point un corps composé, mais un état allotropique de l'oxygène. Cet état allotropique est dû à l'action de l'électricité sur l'oxygène.

Cette opinion, basée sur de belles expériences, a prévalu partout, et l'existence de l'ozone, ainsi considéré, paraît aujourd'hui incontestable.

Ajoutons encore à toutes ces diverses substances la présence de l'*eau oxygénée*, constatée par M. Struve, directeur de l'Observatoire

de Pulkowa. Occupé à faire des analyses chimiques de l'eau de la rivière Kusa, notre savant correspondant était frappé de la présence dans cette eau d'une certaine quantité de nitrite d'ammoniaque, dont il ne constatait l'existence qu'après chaque chute de neige ou de pluie. Mais quelque temps après il était impossible de découvrir même la plus petite trace de cette substance. M. Struve pensa donc que le nitrite d'ammoniaque existait dans l'air, et qu'il avait été entraîné par la neige ou la pluie. Il entreprit des recherches sur cette question, et c'est dans le courant de ces recherches qu'il fit l'intéressante découverte de la présence de l'eau oxygénée dans l'Atmosphère. De ces recherches résultent les conclusions suivantes :

1° L'eau oxygénée se forme dans l'Atmosphère comme l'ozone et le nitrite d'ammoniaque, et se sépare de l'air par les dépôts atmosphériques.

2° L'ozone, l'eau oxygénée et le nitrite d'ammoniaque se trouvent toujours dans un rapport intime.

3° Les altérations que l'air atmosphérique fait subir aux papiers ioduro-amidonnés sont dues à l'ozone et à l'eau oxygénée.

Un dernier mot encore.

Tout en absorbant pour nos poumons la quantité d'air qui leur est due, nous respirons souvent sans le savoir des armées d'animalcules microscopiques en suspension dans le fluide atmosphérique, et même des animaux antédiluviens, des momies et des squelettes des temps disparus !

Paris est presque entièrement bâti de carapaces et de squelettes calcaires microscopiques. Les coquilles des foraminifères, entre autres, à l'état fossile, forment à elles seules des chaînes entières de collines élevées et des bancs immenses de pierre à bâtir. Le calcaire grossier des environs de Paris est, dans certains endroits, tellement rempli de ces dépouilles, qu'un centimètre cube des carrières de Gentilly, carrières par couches d'une grande épaisseur, en renferme au moins 20000 ; ce qui fait, par mètre cube, le chiffre énorme de 20 000 000 000.

Quand nous passons près d'une maison en démolition ou d'un édifice que l'on construit, et que nous sommes enveloppés par un nuage de poussière qui pénètre dans notre gosier, nous avalons souvent, sans nous en douter, des centaines de ces infiniment petits.

Chaque jour, chaque heure, nous aspirons et faisons pénétrer dans notre poitrine des légions animales et végétales. Ici ce sont des microzoaires vivants, dont plusieurs espèces sont les pois-

sons de notre sang; là ce sont des vibrions, qui viennent s'attacher à nos dents comme des bancs d'huîtres aux rochers; plus loin c'est de la poussière d'animalcules microscopiques si petits qu'il en faut 1 111 500 000 pour faire un gramme; ailleurs ce sont des grains de pollen qui vont germer sur nos poumons et répandre la vie parasite, incomparablement plus développée que la vie normale visible à nos yeux.

Les vents et les ouragans, en agitant violemment l'Atmosphère, les courants ascendants dus aux inégalités de température, les volcans en émettant d'une manière incessante des gaz, des vapeurs et des cendres tellement divisées, que souvent elles vont s'abattre à de prodigieuses distances, portent et maintiennent dans les plus hautes régions des corpuscules enlevés à la surface du sol ou arrachés à la partie interne et peut-être encore incandescente du globe. Dans les phénomènes liés à l'organisme des plantes et des animaux, ces substances si ténues, d'origines si diverses, dont l'air est le véhicule, exercent vraisemblablement une action bien plus prononcée qu'on n'est communément porté à le supposer. Leur permanence est d'ailleurs mise hors de doute par le seul témoignage des sens, lorsqu'un rayon de soleil pénètre dans un lieu peu éclairé; « l'imagination se figure aisément, mais non sans un certain dégoût, dit M. Boussingault, tout ce que renferment ces poussières que nous respirons sans cesse, et que l'on a parfaitement caractérisées en les nommant les *immondices de l'Atmosphère*. Elles établissent en quelque sorte le contact entre les individus les plus éloignés les uns des autres, et bien que leur proportion, leur nature, et, par conséquent, leurs effets soient des plus variés, ce n'est pas s'avancer trop que de leur attribuer une partie de l'insalubrité qui se manifeste habituellement dans les grandes agglomérations d'hommes. »

On aura une idée de ce que nous pouvons absorber en respirant, en jetant un coup d'œil sur la collection d'objets de la page suivante. Les quatre premiers sont des foraminifères; les deux suivants, des écailles d'ailes de papillon. Au second rang, nous voyons deux milioles, coquilles de la pierre à bâtir, et deux animalcules qui sèchent et ressuscitent sur les toits : le tardigrade et le rotifère. Le dernier rang nous représente de petits grains de pollen, comme il y en a des milliers en suspension dans l'air au printemps. Il est superflu d'ajouter que tous ces êtres et germes sont extrêmement grossis. Nous respirons tout cela! Mais nous en buvons et mangeons bien d'autres.

Les eaux météoriques entraînent ces poussières en même temps qu'elles en dissolvent les matières solubles, parmi lesquelles se trouvent des sels fixes ammoniacaux, comme elles dissolvent la vapeur de carbonate d'ammoniaque et le gaz acide carbonique répandus dans l'air. Une pluie, lorsqu'elle commence, doit donc renfermer plus de principes solubles que lorsqu'elle finit, et si cette pluie se prolonge sans interruption par un temps calme, il

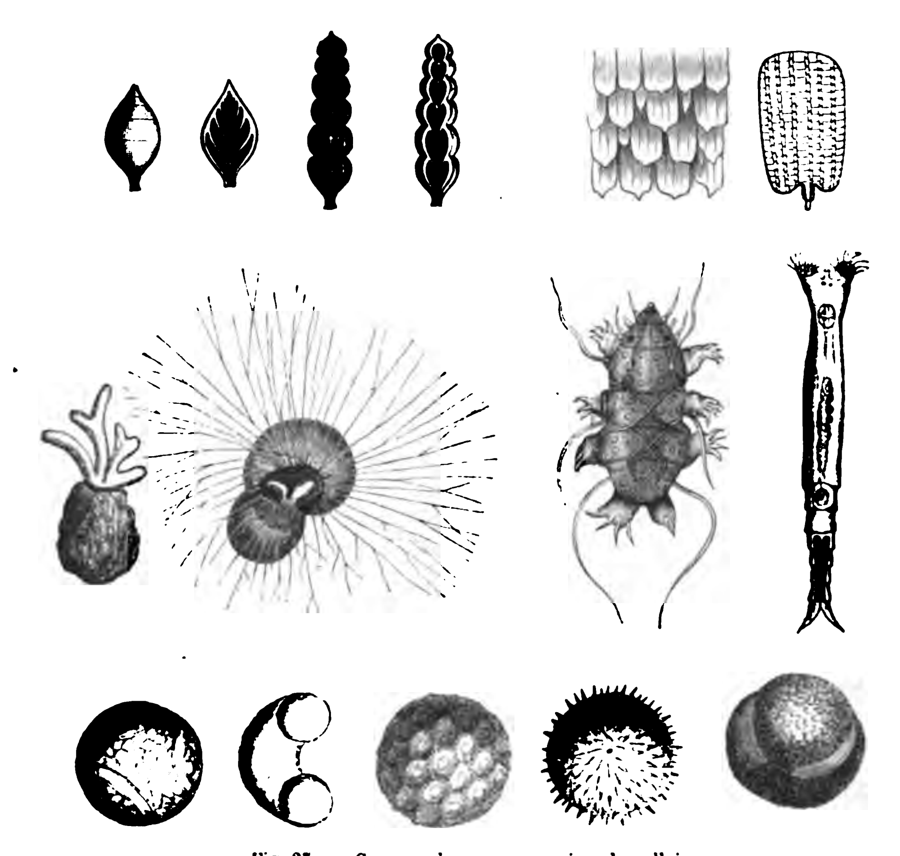


Fig. 27. — Corpuscules en suspension dans l'air.

arrive un moment où l'eau ne contient plus que de très-faibles indices de ces principes.

Des *miasmes*, propagateurs des épidémies, sont entraînés par les courants aériens; le choléra, la fièvre jaune, la variole, les maladies qui périodiquement tombent sur les peuples, paraissent avoir leur principal mode de propagation dans l'Atmosphère, usine de la mort comme de la vie. La mortalité, qui a été si considérable à Paris pendant les premiers mois de cette année 1870, par suite de

la petite vérole, des pleurésies et des fluxions de poitrine, s'est manifestée surtout dans les arrondissements septentrionaux, sur lesquels les vents du sud apportent les miasmes de la grande ville et où l'ozone disparaît presque complétement. La connaissance des conditions de la santé publique sera fournie en partie par l'étude des rapports de la météorologie avec les variations de cette santé, qui oscille constamment sous le souffle léger des brises comme sous le faible balancement de la pression barométrique.

L'air rapporté de 7000 mètres de hauteur par Gay-Lussac, lors de son voyage aérostatique, avait la même composition que celui qui se trouvait à la surface de la terre. Les expériences de M. Boussingault en Amérique, celles de M. Brunner dans les Alpes, conduisent aux mêmes conclusions. Cette similitude dans les résultats dépend de ce que les courants d'air et les variations continuelles de densité mélangent sans cesse les couches atmosphériques.

En est-il encore de même à des hauteurs plus considérables? Cela n'est pas probable, car l'azote et l'oxygène étant à l'état de mélange et non de combinaison, les gaz doivent s'arranger suivant l'ordre des densités, eu égard, bien entendu, à la loi d'expansion, c'est-à-dire qu'ils se comportent comme deux atmosphères distinctes, le plus dense devant s'étendre moins loin que l'autre; de sorte que la proportion d'azote, dont la densité est 0,972, celle de l'air étant 1, doit s'accroître à mesure que l'on s'élève dans l'Atmosphère; tandis que l'oxygène, dont la densité est 1,057, et qui est le plus dense, doit se trouver en plus grande proportion à la surface. Suivant cette hypothèse, à 7000 mètres, ce dernier gaz n'entrerait plus que pour 19 centièmes dans le volume de l'air; mais, jusqu'à présent, l'expérience n'a pu constater une telle différence, attendu que cette évaluation suppose l'air tranquille, et qu'entre ces limites il est continuellement agité.

La composition de l'air varie entre de très-faibles limites : quand il pleut, l'eau condensée dissout plus d'oxygène que d'azote; quand il gèle, l'eau abandonne ces mêmes gaz; l'eau qui s'évapore en rend aussi à l'Atmosphère.

Nous pouvons nous demander maintenant, en terminant cette étude de la composition chimique de l'air, si cette constitution varie actuellement sur le globe terrestre.

En vertu d'une de ces grandes harmonies naturelles qui lient le règne animal et le règne végétal, tandis que les animaux fonctionnent comme des appareils de combustion, fixent l'oxygène

de l'air et le rejettent à l'état d'acide carbonique dans l'Atmosphère, les végétaux jouent un rôle inverse; ils fonctionnent en effet comme des appareils de réduction : sous l'influence des rayons solaires, les parties vertes des plantes réagissent sur l'acide carbonique, le décomposent, fixent le carbone et restituent l'oxygène à l'air. L'Atmosphère, que les animaux tendent à vicier, est purifiée par l'action des végétaux. L'équilibre chimique de composition de l'air tend donc à se conserver en vertu de ces actions inverses exercées sur ses éléments constitutifs.

Certains phénomènes dus à la décomposition des roches par oxydation, sembleraient d'abord de nature à modifier à la longue la composition de l'air; mais une série d'actions inverses de réduction tend à restituer, sous la forme d'acide carbonique, l'oxygène disparu. Comme le fait observer Ebelmen, dans son mémoire sur les altérations des roches, le jeu des réactions de la matière minérale à la surface du globe semble aussi de nature à établir une compensation pour maintenir la constance de composition chimique de l'Atmosphère.

Cette compensation s'établit-elle d'une manière exacte? En supposant qu'elle n'ait pas lieu, ce qui est possible, la quantité d'oxygène ira-t-elle en diminuant? « C'est une grande question, disait Thenard, dont on ne pourra avoir la solution qu'au bout de plusieurs siècles, en raison de l'énorme volume d'air dont notre planète est entourée. »

Dans leur beau mémoire sur la véritable constitution de l'air atmosphérique, MM. Dumas et Boussingault s'exprimaient ainsi en 1841 :

« Quelques calculs qui ne peuvent avoir une précision bien absolue, sans doute, mais qui reposent néanmoins sur un ensemble de données suffisamment certaines, vont montrer jusqu'où il conviendrait de pousser l'approximation de l'analyse pour atteindre la limite où les variations d'oxygène pourraient se manifester d'une manière sensible. L'Atmosphère est sans cesse agitée; les courants excités par la chaleur, par les vents, par les phénomènes électriques, se mêlent et en confondent sans cesse les diverses couches. C'est donc la masse générale qui devrait être altérée pour que l'analyse pût indiquer des différences d'une époque à l'autre. Mais cette masse est énorme. Si nous pouvions mettre l'Atmosphère tout entière dans un ballon et suspendre celui-ci au plateau d'une balance, il faudrait pour lui faire équilibre dans le plateau opposé 581 000 cubes de cuivre de 1 kilomètre de côté.

« Supposons maintenant que chaque homme consomme 1 kilogramme d'oxygène par jour, qu'il y ait mille millions d'hommes sur la Terre, et que, par l'effet de la respiration des animaux et la putréfaction des matières organiques, cette consommation attribuée aux hommes soit quadruplée. Supposons de plus que l'oxygène dégagé par les plantes vienne seulement compenser l'effet des causes d'absorption oubliées dans notre estimation; ce sera mettre bien haut, à coup sûr, les chances d'altération de l'air. Eh bien! dans cette hypothèse exagérée, au bout d'un siècle tout le genre humain et trois fois son équivalent n'auraient absorbé qu'une quantité d'oxygène égale à 15 ou 16 cubes de cuivre de 1 kilomètre de côté, tandis que l'air en renferme près de 134 000.

« Ainsi, prétendre qu'en y employant tous leurs efforts les animaux qui peuplent la surface de la Terre pourraient en un siècle souiller l'air qu'ils respirent, au point de lui ôter la huit millième partie de l'oxygène que la nature y a déposé, c'est faire une supposition infiniment supérieure à la réalité. »

Nous verrons, au chapitre suivant, que dans les lieux habités, fermés ou mal ventilés, les effets de la respiration des hommes ou des animaux, les phénomènes de la combustion du charbon ou des matières combustibles peuvent amener l'air à un degré d'altération notable. Aussi dans les appartements, casernes, salles d'hôpitaux, amphithéâtres, dans les puits et galeries de mines, etc., l'analyse chimique, lorsqu'elle est suffisamment précise, indique-t-elle toujours une composition différente de celle qui correspond à l'air libre.

En outre, dans les lieux habités et même en dehors de l'influence de la présence de malades, les émanations animales qui s'échappent avec la vapeur aqueuse par la transpiration pulmonaire et cutanée peuvent exercer une influence physiologique incontestable et souvent plus fâcheuse que celle de la production de l'acide carbonique ou de la disparition de l'oxygène en faible quantité.

C'est surtout lorsque l'air arrive à l'état de saturation par les causes précitées qu'on est porté à le considérer comme nuisible. On admet aujourd'hui que pour éviter toute influence désastreuse sur l'économie organique il faut construire les demeures, et surtout les hôpitaux, de manière à donner 60 mètres cubes d'air pur par heure et par individu.

Telle est l'Atmosphère terrestre, à la fois usine et substance de la vie à la surface de notre planète. Une combinaison chimique quelconque effectuée dans son sein pourrait la mettre en confla-

gration et anéantir la vie, comme on peut facilement l'imaginer en supposant par exemple la rencontre d'une queue de comète formée de gaz hydrogène ou quelque émanation expulsée des entrailles du globe. Il y a quatre ans, nous avons assisté à une sorte de fin de monde de cette nature, à l'incendie d'un monde de la constellation de la Couronne boréale causé par une combustion d'hydrogène, comme l'analyse spectrale l'a montré. Aujourd'hui ce monde, embrasé et brûlé, roule silencieux dans les déserts du vide. C'est le spectacle que nous pouvons aussi donner d'un jour à l'autre aux habitants des autres planètes. Une simple modification dans la composition de notre atmosphère pourrait causer ici la mort universelle, et peut-être préparer des conditions nouvelles à des générations inconnues. Il est probable, en effet, que quoique l'oxygène soit sur la Terre le principe de la vie, les milliards de mondes de l'infini ne sont pas identiquement organisés de la même façon, et qu'il y a des modes d'existences divers vivant en des atmosphères tout à fait différentes de la nôtre. Peut-être dans cent siècles, les hommes de la Terre seront-ils tout différents de ce que nous sommes aujourd'hui, et vivront-ils eux-mêmes dans les régions aériennes, conquises et hospitalières.

CHAPITRE VI.

L'ŒUVRE DE L'AIR DANS LA VIE TERRESTRE.

RESPIRATION ET ALIMENTATION DES PLANTES, DES ANIMAUX ET DES HOMMES.

Maintenant que nous connaissons le volume, le poids et la nature de l'Atmosphère terrestre, il convient que nous embrassions dans une esquisse rapide l'œuvre permanente de ce fluide vivifiant à la surface de notre planète, et que nous nous rendions un compte aussi exact que possible du fonctionnement de cette œuvre à travers les corps vivants.

La constitution organique de la Terre est construite par l'air et pour l'air. C'est l'air qui a joué le premier rôle dans la formation des êtres. Depuis le plus humble jusqu'au plus riche, tous respirent, tous renouvellent leurs tissus par la respiration, et par l'alimentation, qui n'est elle-même qu'une sorte de respiration. L'air baigne, emplit, compose toutes choses. L'herbe des champs, l'arbre des forêts, le fruit du poirier ou de l'oranger, la pêche ou l'amande, le grain de blé ou la grappe de la vigne : autant de fruits de l'air. L'animal n'est lui-même que de l'air organisé; et l'homme est une *âme vêtue d'air* plus ou moins condensé, plus ou moins agréablement disposé par la force vitale suivant la forme du type humain terrestre.

L'âme de la plante, l'âme de l'animal, l'âme de l'homme, se fabrique son organisme planétaire à l'aide du milieu ambiant. Là elle pousse une feuille dans la lumière pour saisir et fixer avec avidité l'acide carbonique de l'air. Ici elle ouvre et ferme alternativement les poumons destinés à extraire l'oxygène du même

milieu aérien qui nous imbibe. Là encore elle dirige une racine haletante vers tel suc terrestre qui conviendra à son espèce; ici elle nous engage à choisir tel aliment, à laisser tel autre; et ainsi dans chaque être vivant elle entretient sans oubli l'organisme qu'elle s'est formé.

Considérons un instant cet entretien de la vie végétale, animale et humaine; et puisque notre propre personne nous intéresse ordinairement plus que les autres productions de la nature, voyons d'abord de quoi vit l'homme.

L'alimentation d'abord est multiple en apparence, mais elle se résume en définitive pour tous, dans les éléments analogues à ceux de la respiration.

L'indigène de l'Amérique du Sud toujours en chasse à cheval sur son coursier sauvage consomme dix à douze livres de viande par jour; une tranche de citrouille qu'on lui offre dans une hacienda est pour lui une véritable jouissance; le mot de *pain* ne se trouve pas dans son vocabulaire. Las de son travail de chaque jour, l'Irlandais plein d'insouciance se régale de ses *potatoes* et ne cesse jamais d'égayer son repas frugal par des plaisanteries. La viande lui est une chose étrangère, et heureux est celui qui a pu se procurer quatre fois par année un hareng pour assaisonner ses pommes de terre. Le chasseur des prairies, qui abat le bison d'un coup infaillible, savoure avec plaisir la loupe succulente et entrelardée qu'il vient de rôtir entre deux pierres brûlantes; pendant ce temps l'industrieux Chinois porte au marché ses rats engraissés avec soin et ses nids d'hirondelles, bien assuré de trouver parmi les gourmets de Pékin des chalands généreux; et dans sa hutte enfumée, presque ensevelie sous la neige et la glace, le Groenlandais dévore le lard qu'il vient de couper aux flancs d'une baleine échouée. Ici l'esclave nègre mâche la canne à sucre et mange ses bananes; là le négociant africain vide son sachet de dattes, seule nourriture à travers le désert; plus loin le Siamois se remplit l'estomac d'une quantité de riz effrayante, qui ferait reculer l'Européen le plus avide. Et quel que soit l'endroit de la terre habitée où nous demandions l'hospitalité, partout on nous offre un aliment différent, « le pain quotidien », sous les formes les plus variées.

Cependant, se demande Schleiden, l'homme est-il un être tellement accommodant, qu'il puisse se construire à l'aide des matières les plus hétérogènes l'habitation corporelle de son esprit, ou bien toutes ces différentes espèces d'aliments ne contiennent-elles

qu'un seul ou un petit nombre d'éléments similaires qui constituent la nourriture de l'homme? C'est cette dernière hypothèse qui est la vraie.

Tout ce qui nous entoure est constitué d'un petit nombre d'éléments simples découverts successivement par la chimie. Il y en a surtout quatre d'entre eux qui entrent dans la composition de tout être organisé vivant sur la terre : l'azote et l'oxygène sont les éléments les plus importants de l'air atmosphérique; l'oxygène et l'hydrogène forment l'eau, par leur combinaison; le carbone et l'oxygène produisent l'acide carbonique, et, enfin, l'azote et l'hydrogène se réunissent pour composer l'ammoniaque. Ce sont ces quatre éléments, à savoir : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, qui dans leurs combinaisons diverses forment les substances dont se composent les plantes et les animaux.

Les quatre corps que nous venons de nommer, en se réunissant dans différentes proportions, constituent une infinité de substances organiques que l'on pourrait classer en deux séries distinctes. L'une comprend les corps composés des quatre éléments réunis, tels sont : l'albumine, la fibrine, la caséine et la gélatine. Le corps animal entier est tissé de ces matières, et quand elles en sont séparées ou que la vie les quitte, elles se décomposent en fort peu de temps et donnent de l'eau, de l'ammoniaque et de l'acide carbonique qui se dégagent dans l'air. La seconde série contient, au contraire, des substances privées d'azote, savoir : la gomme, le sucre, l'amidon, les liquides qui en dérivent, tels que l'alcool, le vin, le beurre et enfin les corps gras. Ceux-ci passent par le corps animal, en ce sens que leur carbone et l'hydrogène sont consumés par l'oxygène aspiré pendant la respiration, et ensuite exhalés sous forme de gaz acide carbonique et d'eau.

Les mêmes atomes des corps simples passent en proportions différentes, et dans des combinaisons ou mélanges différents, à travers les organismes végétaux et animaux, venant de l'air et y retournant. La vie se nourrit de la mort, et les décompositions servent de nouveaux mets sur la table toujours complète de l'entretien de la vie terrestre. Le naturaliste a raison de dire que l'homme vit en définitive de l'air par l'intermédiaire des plantes. La plante absorbe dans l'Atmosphère les substances dont elle compose sa nourriture. Que nous mangions du végétal, de l'animal, ou que nous respirions simplement, nous ne faisons ja-

mais que remplacer les molécules de notre corps par des molécules nouvelles, qui ont appartenu à d'autres corps, et en définitive, absorber ce qui a été rejeté par d'autres, et rejeter ce qui va être repris par d'autres.

L'homme adulte pèse en moyenne 70 kilog., et après avoir défalqué la grande quantité d'eau qui circule dans toutes les parties du corps, il reste environ 18 kilog., dont 7 pour les os et 11 pour les autres parties. Les premiers contiennent en moyenne 66 pour 100, et le reste 3 pour 100 de substance terreuse qui subsiste après l'incinération. A part ce sable, ce phosphate de chaux, nous prenons tout dans l'air, directement ou indirectement.

Nous nous nourrissons aux trois quarts d'air par la respiration. Nous devons demander le dernier quart à des aliments en apparence plus solides; mais nous voyons que ces aliments eux-mêmes sont surtout composés des principes constitutifs de l'air. Tel est l'état de notre planète. Il existe certainement des mondes où l'on vit plus agréablement, sans être astreint à ce travail grossier du manger et du boire, et à leurs désagréables conséquences, — où l'air, un peu plus nutritif qu'ici, l'est suffisamment. A l'opposé, il existe sans doute des mondes où l'on est encore plus malheureux qu'ici, où l'on ne possède pas cette Atmosphère qui nous nourrit aux trois quarts à notre insu, et où l'on est obligé de gagner, par le travail, des déjeuners d'oxygène ou d'autre gaz.

En somme, l'air transparent est composé des mêmes principes qui se trouvent en plus grande abondance dans la croûte opaque et solide de notre globe. Les quatre éléments principaux de tout organisme végétal ou animal : l'oxygène, l'azote, l'hydrogène et le carbone, s'y retrouvent également : les deux premiers, comme éléments constituants de l'air; le troisième, mélangé avec l'oxygène sous forme de vapeur d'eau; et le quatrième enfin, mêlé au souffle expiré par les animaux et à maint autre gaz provenant de la décomposition des plantes.

Si nous reconnaissons ainsi dans les principes de l'alimentation la prépondérance de l'oxygène, de l'eau et de l'azote, en diverses combinaisons, il nous sera incomparablement plus facile de constater maintenant dans la respiration l'œuvre constante et unique de l'Atmosphère.

Examinons donc ce grand rôle de l'air dans la vie.

Le système sanguin qui se développe dans tout notre corps se divise principalement en deux sortes de conduits : les *artères*, par lesquelles le sang se transporte du cœur à tous les organes; les

veines, par lesquelles il revient au cœur. On désigne sous le nom de *circulation* cette marche du sang parcourant le corps entier, et revenant au cœur, son point de départ.

Le *cœur* est un organe creux et musculaire, de forme conique, et de la grosseur du poing chez l'adulte. Il est divisé par une cloison musculaire en deux moitiés à peu près égales, adossées l'une à l'autre et partagées, chacune dans sa hauteur, en deux *cavités*, dont la supérieure est l'oreillette, et l'inférieure le ventricule. Les oreillettes doivent leur nom à un appendice aplati qui retombe sur leur face externe. L'oreillette droite C communique avec le ventricule droit (A), l'oreillette gauche (D) avec le ventricule gauche (B). Il n'existe pas de communication entre les deux ventricules.

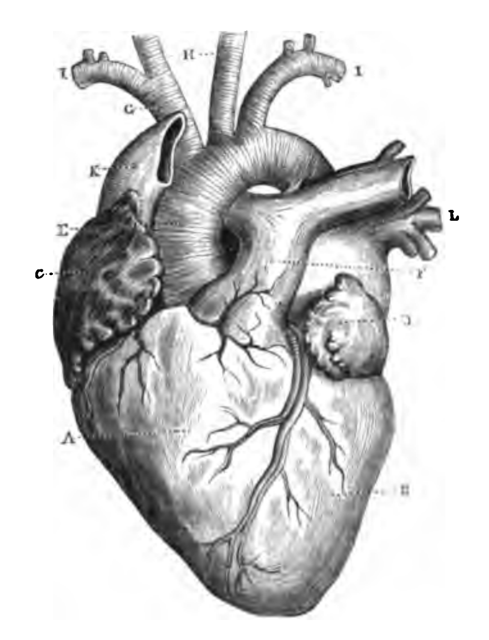


Fig. 27. — Cœur de l'homme.

Agent principal de la circulation, le cœur est le siége de mouvements qui ne sont pas soumis à la volonté, mais qui néanmoins (comme chacun l'a plus d'une fois éprouvé sur soi-même) sont influencés sans cesse par les impressions morales et les sensations. Ces mouvements consistent dans la contraction et le relâchement alternatifs des parois du cœur. Les ventricules se contractent simultanément, puis, à leur contraction succède une période de relâchement, pendant laquelle les oreillettes se contractent à leur tour, pour se relâcher pendant la nouvelle contraction des ventricules. Pendant la dilatation, le sang afflue dans les cavités du cœur; il en est chassé par la contraction: celle des oreillettes le fait passer dans les ventricules; celle des ventricules le lance dans les artères.

C'est cette alternance qui constitue le rhythme du cœur et les battements régulièrement espacés qu'il fait entendre et sentir à travers les parois de la poitrine. Voyons d'abord comment s'accomplit la circulation artérielle.

La contraction du ventricule gauche (B) pousse le sang dans

l'artère aorte (E), et par là dans toutes les artères, où il coule sous la triple action de la contraction ventriculaire, de l'élasticité et de la contractilité des parois artérielles. Dans les vaisseaux d'un certain calibre, son mouvement est rhythmé comme celui du cœur; si l'on appuie le doigt sur le trajet d'une artère, on perçoit le choc du sang, le pouls.

A mesure que le sang avance dans les ramifications artérielles, les nombreux changements de direction qu'il subit et le frottement du liquide contre les parois des vaisseaux diminuent sa force d'impulsion; enfin, dans les vaisseaux capillaires, il coule par un mouvement continu et sans secousse.

Lorsqu'il est parvenu dans les capillaires, le sang artériel transmet aux tissus les principes dont il se compose, et les livre à l'assimilation, pour reprendre en échange les molécules désassimilées qui doivent être rejetées de l'organisme ou soumises à une élaboration nouvelle. Fluide vivant et nourricier, il porte dans les organes la vie, la chaleur et les éléments de la nutrition.

Après avoir parcouru les vaisseaux capillaires, il passe dans les radicules veineuses. A son entrée dans l'aorte et pendant sa marche dans le système artériel, il était d'un rouge éclatant; maintenant sa couleur est sombre, le sang rouge s'est transformé en sang noir. Privé d'une grande partie de ses principes constituants, il revient en puiser de nouveaux à leur source.

Le sang se meut dans les veines sous l'impulsion qu'il a reçue primitivement du cœur. Des régions inférieures du corps il remonte dans la poitrine, où les éléments de la nutrition viennent remplacer ceux qui, tout à l'heure, ont été livrés à l'assimilation. Ainsi reconstitué partiellement, le sang va se jeter, par la veine cave (K), dans l'oreillette droite (C), et l'oreillette, en se contractant, le chasse dans le ventricule droit (A).

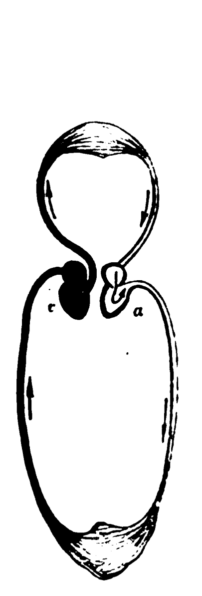
Voilà le sang revenu au cœur; mais bien qu'enrichi des produits assimilables de la digestion, il est incomplet, et doit se transformer pour redevenir un sang parfait, en même temps que la combustion d'une partie de ses principes produira la chaleur qu'il distribuera bientôt à l'organisme. C'est dans les poumons que cette élaboration s'effectue.

Le ventricule droit se contracte, le flot de sang veineux passe dans l'artère pulmonaire (F).

Dans les capillaires des poumons, l'air agit sur le sang veineux chargé d'acide carbonique et le transforme en sang artériel. Les globules rouges brun du sang veineux prennent, au contact de

l'oxygène, une couleur vermeille et rutilante; ils se chargent du calorique dégagé par la combustion du carbone et, revivifié, le sang pénètre jusqu'à l'oreillette gauche qui le transmet immédiatement au ventricule, où son trajet circulaire se termine pour recommencer aussitôt.

La circulation, dit le docteur Le Pileur, peut donc être divisée en deux périodes simultanées, le cercle fictif parcouru par le sang se compose de deux segments inégaux que décrit la colonne liquide; le segment supérieur est la circulation pulmonaire ou pe-



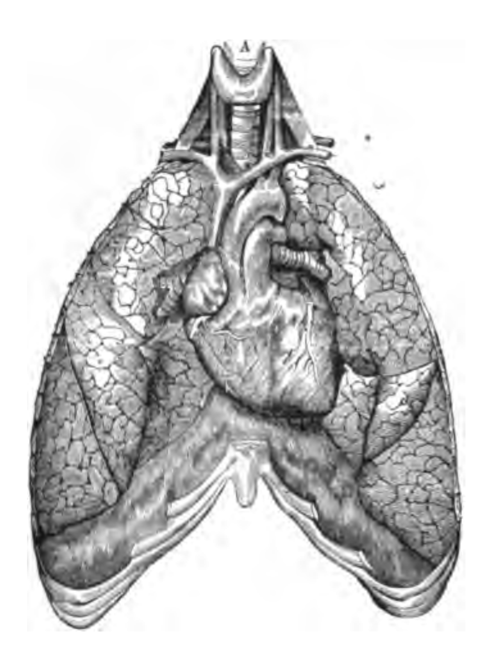




Fig. 28. —Trajet fictif du sang.

Fig. 29. — Cœur et poumons de l'homme.

tite circulation, le segment inférieur est la circulation générale ou grande circulation. Le sang veineux noir (*v*) devient rouge dans la circulation pulmonaire, et, recommençant son cours en *a*, est sang artériel.

Comme leur nom l'indique, les poumons (pneumôn, de πνέω, je respire) sont l'organe essentiel de la respiration. Au nombre de deux, mais recevant l'air d'un même canal et le sang d'un seul vaisseau, ils doivent être considérés comme l'expansion terminale des ramifications de la trachée-artère (A), ou, si l'on veut, comme les deux têtes d'un même arbre. Placés dans la poitrine dont ils occupent la plus grande partie et qui est comme leur moule, ils re-

présentent deux cônes irréguliers, reposant par leurs bases sur le diaphragme.

Les poumons reçoivent l'air par le larynx, la trachée-artère et les bronches. Le larynx, organe de la voix, se continue par son orifice inférieur avec la trachée-artère. Celle-ci se divise en deux conduits que l'on nomme les *bronches*, et qui, parvenus à la racine des poumons, donnent naissance à des ramifications nombreuses. Ils continuent à se subdiviser et se terminent par les cellules pulmonaires dont l'agglomération en grappes constitue les lobules du poumon.

La respiration est une fonction caractérisée par l'introduction de

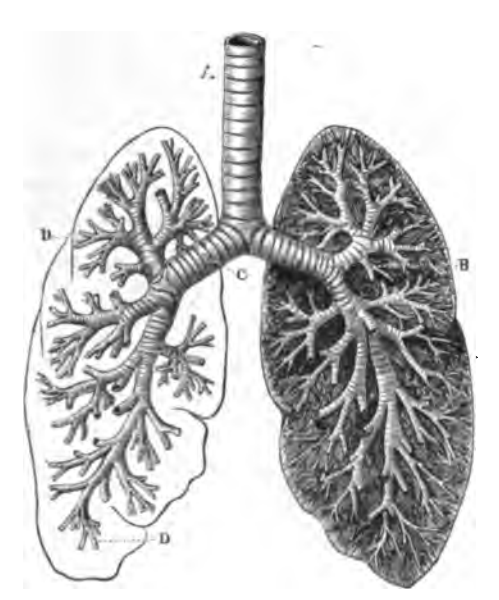


Fig. 30. — Ramifications des bronches.
(A, trachée-artère ; B et C, bronches ; D, D, ramuscules bronchiques.)

l'oxygène de l'air dans le sang et l'expulsion, sous forme gazeuse, d'une partie des matériaux inutiles ou nuisibles à l'organisme. Elle se divise en deux temps : l'*inspiration*, pendant laquelle l'air atmosphérique pénètre dans les cellules pulmonaires, et l'*expiration*, qui chasse des poumons cet air modifié. On peut comparer les poumons à un fin tissu, dont le développement serait 120 fois plus grand que la surface du corps entier, qui est replié sur lui-même, et criblé de 40 à 50 millions de petits trous. Ces pores sont justes trop petits pour laisser filtrer le sang, et assez grands pour laisser pénétrer l'air! Quand l'oxygène de l'air les traverse

pour se combiner avec le sang, celui-ci se régénère par ce contact et laisse ses molécules inutiles se mêler à l'air qui les emporte avec lui dans l'expiration. C'est, comme on voit, un échange de gaz qui se fait entre l'air et le sang, le premier abandonnant au second de l'oxygène et en recevant d'autres fluides gazeux, parmi lesquels l'acide carbonique domine. Ce dernier gaz, en excès dans le sang veineux, s'exhale au dehors, tandis que l'oxygène de l'air revivifie le sang rapporté au cœur par les veines.

Ainsi, d'une part l'oxygène atmosphérique brûle dans le poumon du carbone; d'autre part le poumon exhale de l'acide carbonique, de l'azote et de la vapeur d'eau. L'oxygène combiné au sang pendant la respiration s'en est séparé peu à peu dans les capillaires du corps entier, pour faire naître des produits nombreux, et, entre autres, de l'acide carbonique. Au sortir du cœur et dans les artères, le sang contenait 24 centimètres cubes pour 1000 d'oxygène, dans les veines il n'en contient plus que 11. Quant à l'azote et à la vapeur d'eau, l'un est dégagé, l'autre produite pendant ce même travail de la nutrition, et tous deux sont puisés par l'organisme dans les principes qu'y introduisent la digestion et la respiration.

Lavoisier qui, nous l'avons vu, fut le premier analysateur de l'air, fut encore le premier qui ait constaté l'absorption de l'oxygène dans la respiration, et montré par des expériences l'analogie qui existe entre les fonctions respiratoires et la combustion. « La respiration n'est, dit-il, qu'une combustion lente de carbone et d'oxygène, qui est semblable en tout à celle qui s'opère dans une lampe. Dans la respiration comme dans la combustion, c'est l'air qui fournit l'oxygène.... Mais, comme dans la respiration, c'est la substance même de l'animal qui fournit le combustible; si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe, et l'animal périrait comme la lampe s'éteint lorsqu'elle manque de nourriture. » La plupart des physiologistes ont admis la théorie de Lavoisier et considèrent la respiration comme une combustion lente des matériaux du sang par l'oxygène de l'air ambiant, et comme la source de la chaleur animale.

Une bougie d'une part, un petit animal d'autre part, placés chacun sous une cloche, effectuent la même opération. L'un et l'autre usent l'oxygène pour faire de l'acide carbonique. Aussi l'un et l'autre s'éteignent-ils, meurent-ils, lorsqu'il n'y a plus assez d'oxygène pour les entretenir.

L'expérience apprend que l'air arrivé au même degré d'altération que l'air expiré est incapable de soutenir la combustion des lampes à simple courant d'air et des bougies.

On comprend, d'après ce qui précède, que l'air exhalé n'a pas le même volume ni les mêmes proportions d'éléments constituants, que l'air inspiré. En effet, l'homme adulte absorbe par la respira-

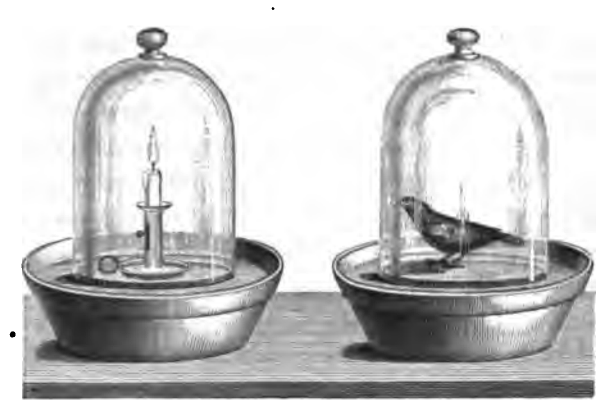


Fig. 31. — Respiration et combustion.

tion de 20 à 25 litres, c'est-à-dire 29 à 36 grammes d'oxygène par heure ou 500 litres par jour. En évaluant la population humaine du globe à 1 milliard, il en résulte que l'humanité enlève par jour à l'Atmosphère 500 milliards de litres, ou 500 *millions de mètres cubes d'oxygène !*

L'homme exhale par heure 20 litres ou 41 grammes d'acide carbonique, 480 litres par jour ou près de 1 kilogramme. En un jour la race humaine donne donc à l'Atmosphère 480 millions de mètres cubes ou mille millions de kilogrammes d'acide carbonique !

La ville de Paris seule exhale dans l'air 4 millions 500 000 mètres cubes d'acide carbonique par jour, dont 1 000 000 par la population et les animaux, et 3 500 000 par les combustions diverses.

Avec une petite quantité d'azote (un centième de l'oxygène absorbé) l'expiration humaine renvoie encore par heure 630 grammes d'eau environ, sous forme de vapeur, ou plus de 15 kilogrammes par jour. C'est donc plus de 15 *milliards de kilogrammes d'eau* qui s'échappe par jour des lèvres de l'humanité.

Enfin, comme chaque individu introduit à peu près 10 mètres cubes d'air dans ses poumons par jour, c'est 10 *milliards de*

mètres cubes d'air qui traversent par jour les poumons insatiables des fils d'Adam et des filles d'Ève.

Aussi voit-on survenir les accidents les plus graves chez les individus placés dans un espace clos où l'air ne peut se renouveler. Au siècle dernier, pendant la guerre des Anglais dans l'Inde, cent quarante-six prisonniers furent enfermés dans une salle à peine suffisante pour les contenir, et où l'air ne pénétrait que par deux étroites fenêtres; au bout de huit heures, vingt-trois de ces hommes restaient seuls vivants et dans un état déplorable. Percy rapporte qu'après la bataille d'Austerlitz, trois cents prisonniers russes ayant été renfermés dans une caverne, deux cent soixante de ces malheureux succombèrent en quelques heures à l'asphyxie.

Les atmosphères rendues asphyxiantes par la combustion du charbon doivent leurs propriétés délétères non à l'acide carbonique, mais à une faible proportion d'oxyde de carbone. C'est là véritablement le gaz qui produit l'asphyxie lors de la combustion du charbon en l'absence d'appareils de tirage pour l'expulsion des gaz brûlés. L'influence toxique de l'oxyde de carbone est démontrée par la mort presque immédiate des animaux à sang chaud portés dans un air auquel on a ajouté 1 pour 100 en volume d'oxyde de carbone pur.

En analysant l'air des enceintes habitées, vicié par la respiration, on a obtenu des résultats intéressants, parmi lesquels on peut citer les suivants :

	Acide carbonique (en poids).
Chambre de caserne de l'École militaire de Paris, affectée à ces expériences (onze soldats y passaient la nuit). Portes et fenêtres fermées et calfeutrées	19 millièmes.
Id. Portes et fenêtres fermées et non calfeutrées..	11 millièmes.
Amphithéâtre de chimie non ventilé après le séjour de 900 personnes pendant 1 heure 1/2 environ..	10 millièmes.
Salles d'hôpital non ventilées et encombrées (à la fin de la nuit)	8 millièmes.
Salle d'école primaire avec ventilation imparfaite..	47 dix-millièmes.
Salle de spectacle à la fin de la représentation (parterre)	43 dix-millièmes.
Air pris dans la cheminée d'appel de la Chambre des députés, à Paris (1842), à la fin d'une séance.	25 dix-millièmes.
Chambre à coucher ventilée (à la fin de la nuit)....	5 dix-millièmes.

La combustion du charbon ou des matières combustibles destinées à l'éclairage est encore une source d'altération de l'air. Une bougie stéarique, brûlant 10 grammes de matière combustible par

heure, consomme environ 20 litres d'oxygène et produit environ 15 litres d'acide carbonique. Un bec de gaz de houille qui débite par heure 140 litres de gaz (bec des lanternes de l'éclairage public à Paris) consomme environ 230 litres d'oxygène et produit environ 112 litres d'acide carbonique. Une lampe Carcel, brûlant 42 grammes d'huile de colza épurée à l'heure, consomme un peu plus de 80 litres d'oxygène, en produisant près de 60 litres d'acide carbonique.

Telle est l'œuvre chimique de l'air dans la vie. Occupons-nous un instant de son œuvre mécanique.

Chez l'adulte au repos, le cœur bat communément soixante fois par minute; la respiration a lieu généralement dix-huit fois par minute; elle est plus fréquente chez l'enfant. On sait que, comme les battements du cœur, elle devient plus active sous l'influence de toute cause d'excitation physique ou morale, et plus lente dans l'attention que l'on donne à un travail difficile.

Quoique tout le monde respire, tout le monde cependant ne sait pas *bien* respirer. C'est la fonction la plus importante de la vie, et qui s'effectue pendant le travail, la marche, le sommeil. C'est un fait merveilleux, lorsqu'on y songe, de pouvoir combiner sans le savoir la parole d'un long discours avec la respiration. L'inspiration facile et sans effort permet de prolonger longtemps, sans fatigue, les exercices du chant aussi bien que ceux de la gymnastique. Au contraire, les personnes qui respirent surtout par l'élévation des côtes supérieures, se fatiguent et s'essoufflent rapidement. C'est ce qu'on observe chez les femmes, lorsque le corset comprime la base de la poitrine.

Les mouvements respiratoires ne sont pas complétement soumis à la volonté. Après l'inspiration il n'est pas possible de suspendre longtemps le mouvement contraire, et, quand l'expiration a eu lieu, le besoin d'inspirer se fait de nouveau sentir impérieusement. On ne peut, en un mot, retenir son haleine que pendant un espace de temps assez court, deux ou trois minutes au maximum, et les plongeurs les plus exercés ne dépassent pas cette limite.

On estime que chez l'homme de trente-cinq à quarante ans, la capacité des poumons est d'environ 3 litres 70 centilitres d'air; elle est moindre avant cet âge et tombe à un peu moins de 3 litres vers soixante ans. Chez la femme, elle est plus faible, et varie du reste suivant les individus.

La pression atmosphérique influe aussi sur la fréquence des battements du cœur, mais seulement dans certaines conditions. Si l'on s'élève rapidement à une grande hauteur, on remarque dans le

pouls une augmentation de fréquence très-sensible. Les ascensions aérostatiques et les voyages dans les montagnes en fournissent la preuve. Une augmentation dans la pression atmosphérique diminue la fréquence du pouls. On a vu le pouls tomber à 50 et même à 45 pulsations chez des sujets placés dans un appareil à air comprimé, où la pression était portée à 2 atmosphères et plus.

Les fonctions les plus importantes de la nature passent inaperçues pour nous lorsqu'elles sont permanentes. Telle est la respiration. Depuis la première minute qui succéda à notre naissance en ce monde, nous respirons incessamment, nuit et jour, dans le travail comme dans le repos, dans le plaisir comme dans la peine, et nous semblons ne point nous en apercevoir. Ce grand acte de la vie mérite cependant toute notre attention.

Ce n'est point au milieu des agitations du jour que nous pouvons jamais donner un instant d'observation à la production incessante et infatigable de ce phénomène ; mais bien plutôt lorsque le soir, étendus rêveurs sur le divan du repos, ou mieux encore dans les moments qui précèdent le sommeil, lorsque sous l'ombre silencieuse de la nuit nous laissons lentement s'assoupir nos pensées et nos membres. Alors le mouvement léger des poumons qui se gonflent et se dégonflent en cadence peut appeler notre attention solitaire sur cette force insouciante et fatale qui régit notre vie. Nous pouvons penser que durant le sommeil ce mouvement isochrone se perpétuera dans notre poitrine, et tandis qu'une mort apparente enveloppe nos sens et que notre esprit voltige dans le monde chatoyant des rêves, incessamment, sans oubli, notre sein appellera l'air extérieur et ouvrira d'instant en instant la porte de sortie à l'acide carbonique qui nous asphyxierait. Peut-être pourrions-nous aussi penser au désagrément qui résulterait pour nous de l'offuscation accidentelle des conduits respiratoires, si pendant ce même sommeil un objet malencontreux venait, par l'extérieur ou par l'intérieur, fermer notre gorge et intercepter la communication permanente qui doit sans cesse régner entre les poumons et l'air qui baigne notre visage. Mais une telle crainte serait peu propre à amener le sommeil, et nous n'avons garde de la susciter.

En ces instants de calme et de repos où il nous est permis de *nous sentir vivre* par la respiration, nous sommes en excellente condition pour nous rendre compte non-seulement de la nécessité absolue de cette fonction, mais encore de notre vraie situation *au fond de l'océan* aérien. En effet, observons-nous. Couchés ou debout

à la surface du sol, nous sommes, relativement à l'océan aérien placé sur nos têtes, dans la même situation que les coraux, les crustacés et les zoophytes qui habitent le fond de la mer! La mer aérienne se déploie sur nos têtes avec ses oiseaux, ses insectes et ses animalcules invisibles pour poissons. Nous, nous sommes attachés au fond comme de pauvres et lourds crustacés, comme de grossiers poissons ouvrant et fermant leurs branchies de seconde en seconde. Voilà notre situation réelle, à laquelle on ne songe guère. Nous ne sommes pas à la surface, à l'extérieur véritable du monde terrestre, mais nous respirons grossièrement et fatalement au fond de son océan aérien.

Qui sait s'il n'y a pas dans les régions supérieures de l'air des êtres, invisibles pour nos yeux et notre séjour sous-aérien, des êtres supérieurs, qui seraient les véritables intelligences souveraines, les véritables hôtes glorieux de cette création sublunaire?

Une différence dans les degrés de pression atmosphérique, ou, en d'autres termes, les oscillations journalières et les variations accidentelles du baromètre, ont-elles de l'influence sur le corps humain? Dans quelles circonstances et par quels symptômes cette action se manifeste-t-elle? Il est certain que les fonctions s'exécutent avec plus d'énergie, lorsque le baromètre monte et que la pression ambiante est plus forte. On conçoit, en effet, que la pression extérieure étant accrue, le ressort des parois membraneuses est favorisé par cet excès de pression. S'il arrive, au contraire, que le baromètre baisse d'une quantité un peu considérable, nous éprouvons un sentiment de gêne et de fatigue, une propension au repos; nos liquides tiennent quelques gaz en dissolution, et tendent d'ailleurs à se vaporiser par la température propre du corps. Le ralentissement des fonctions, qui est la suite de ce trouble, nous rend plus pénible toute espèce de mouvement; et, rapportant alors à l'air qui nous environne le sentiment produit dans nos organes mêmes, nous avons coutume de nous plaindre que *l'air est lourd*, précisément parce qu'il est trop léger.

Nous avons dit que le poids total supporté par un homme de taille moyenne est de 15500 kilogrammes; la différence de pression, pendant les variations atmosphériques les plus extrêmes, atteint 1000 à 1200 kilogrammes, c'est-à-dire environ un douzième. La température, l'électricité de l'air, son degré de sécheresse ou d'humidité, s'unissent d'ailleurs à l'action de la pression atmosphérique.

Nous avons tous éprouvé l'abattement produit dans notre orga-

nisme par l'abaissement parfois considérable du baromètre[1]. Une différence plus prononcée serait capable de briser les constitutions délicates ou affaiblies, et ce n'est pas un petit sujet de réflexion que de supposer un état de l'Atmosphère susceptible d'endormir du dernier sommeil la race humaine entière.

Les physiologistes ont cité plusieurs exemples fort remarquables de l'influence produite par une simple diminution de la pression atmosphérique. Suivant Mead, dans le mois de février 1687, le baromètre tomba à un degré où jamais on ne l'avait vu descendre : le professeur Cockburn mourut subitement d'une hémoptysie; le même jour, à la même heure, plusieurs personnages connus éprouvèrent des épistaxis et diverses hémorrhagies dangereuses que rien n'avait annoncées, et qui n'avaient été précédées que d'un sentiment de lassitude et de faiblesse. Le 2 septembre 1658, il s'éleva une tempête violente, et Mead prétend qu'elle fut l'une des causes de la mort d'Olivier Cromwell.

Certaines personnes sont de véritables baromètres. Le docteur Foissac cite une dame sujette à des défaillances correspondant à la variation du baromètre et au changement de temps. Il lui est arrivé parfois de prédire un changement de temps très-prochain, en voyant survenir les défaillances chez cette malade, et il a même pu annoncer, sans en être informé, ce qu'elle éprouvait, par la seule connaissance de l'état du baromètre.

A cet exemple pris entre mille, le docteur météorologiste ajoute celui d'un certain marquis, présentant le vrai type de l'hypocondrie la plus caractérisée. « Durant les hautes pressions atmosphériques, il devient morose, colère et même enclin au suicide. Lorsque le poids de la colonne d'air diminue sensiblement, quand le baromètre marque pluie ou tempête, les symptômes

1. Au moment où je corrige cette épreuve (18 mai 1870), j'ai précisément une constatation toute particulière de ce qui vient d'être avancé. Tout le monde, il y a quelques jours, paraissait maussade, alourdi, oppressé. La remarque était si générale, qu'un très-grand nombre de personnes me l'ont manifestée en tempêtant contre les saisons. J'ai répondu que cet état désagréable de la santé publique n'était certainement qu'une affaire de baromètre. En effet, le baromètre était tombé à une pression très-faible, comme on peut le voir en comparant les chiffres du bulletin de l'observatoire météorologique de Montsouris :

5 mai (matin).		763	12 (1 h. m.)		745
7	—	761	13	—	750
8	—	760	14	—	757
9	—	757	17	—	761
10	—	752	18	—	764
11	—	748			

hypocondriaques subissent une sorte de transformation : le marquis tombe dans le découragement; il est sans force, sans énergie, sans volonté, et il emploie les expressions les plus pittoresques pour peindre sa mollesse et son incapacité. » C'est entre ces deux extrêmes de l'échelle barométrique que cet organisme trop sensible éprouve un peu de trêve à ses souffrances habituelles.

Les variations extraordinaires dans la pression atmosphérique, les grands mouvements du baromètre, sont-ils sans influence sur l'état de la santé publique et des maladies? — Non, sans doute. C'est à la suite des fortes perturbations de l'air que se manifestent les épidémies et les fléaux qui frappent tout le règne organique.

Si, libre de préventions et sans idée préconçue, l'homme pouvait noter tout ce qu'il ressent dans un temps donné, il reconnaîtrait promptement qu'il est un point dans la hauteur du baromètre où ses fonctions s'exécutent avec plus de vigueur, où son esprit est mieux disposé, plus libre, plus vif, où l'étude devient plus facile et la vie plus pleine. Dans les zones tempérées, à Paris en particulier, une hauteur moyenne est la plus favorable à la santé du plus grand nombre d'individus, au plein exercice de leurs facultés, ainsi qu'aux manifestations les plus puissantes de leur vie morale. En général, le point où s'accomplit, avec la plus entière perfection, le jeu des fonctions vitales, est celui de 764 millimètres.

Quand le baromètre a dépassé cette hauteur favorable, on sent un plus grand bien-être aux heures où l'oscillation diurne descend à son *minimum*. Le baromètre, au contraire, se trouve-t-il bas, c'est aux heures où l'oscillation atteint son *maximum* que se manifeste la tendance à l'amélioration et au bien-être. Il en est de même pour les variations accidentelles.

Ces règles, ces indications ne sont pas applicables à tous, dirons-nous avec le docteur Foissac; et comme la sécheresse ou l'humidité, le froid ou la chaleur, sont favorables aux uns, nuisibles à d'autres, de même la différence dans la pression atmosphérique produit des effets divers, selon l'état de santé, les tempéraments et les habitudes. On voit d'ailleurs certaines constitutions soustraites à ces influences délicates; et par exemple ces personnes en assez grand nombre qui sentent et pensent comme elles digèrent; que les orages physiques non plus que les accidents moraux ne troublent, ni ne dérangent de leur voie accoutumée, et dont la vie, renfermée dans les réalités du positivisme, ne connaît ni les écarts de l'imagination, ni les nuances multiformes de la

sensibilité. Les réflexions précédentes s'appliquent principalement à ces natures malheureuses (privilégiées?) pour lesquelles la somme de bonheur et de souffrance est double, par leur manière de les ressentir; elles s'appliquent à ces sensitives intelligentes pour qui une épine légère, physique ou morale, est un dard acéré; à ces personnes enfin vouées à l'étude et à la contemplation, inquiètes du passé, soucieuses de l'avenir et plus ou moins effleurées par le *tædium vitæ*, qui pénètre dans leur cœur comme le ver dans le calice de la fleur ou dans le fruit mûri par l'été. C'est, nous n'en doutons pas, de ces natures que le poëte de Tristam Shandy disait, sans penser que par une réflexion morale il formulait une loi physique : « *La marée de nos passions monte et s'abaisseplusieurs fois par jour.* »

Ainsi nous régit le ciel, ainsi notre état physiologique de corps et même d'esprit peut presque toujours se traduire en chiffres barométriques.

Nous venons d'apprécier le rôle de l'air dans la vie humaine et dans celle des animaux supérieurs.

Nous ne pouvons omettre de compléter cette appréciation par l'étude du même rôle chez les autres ordres organiques: chez les oiseaux, les insectes et les poissons, et dans la respiration des plantes. Nous constaterons par là, une fois pour toutes, l'universalité du règne de l'air dans l'organisation de la vie terrestre tout entière.

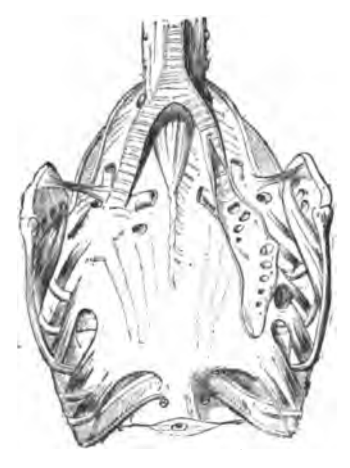
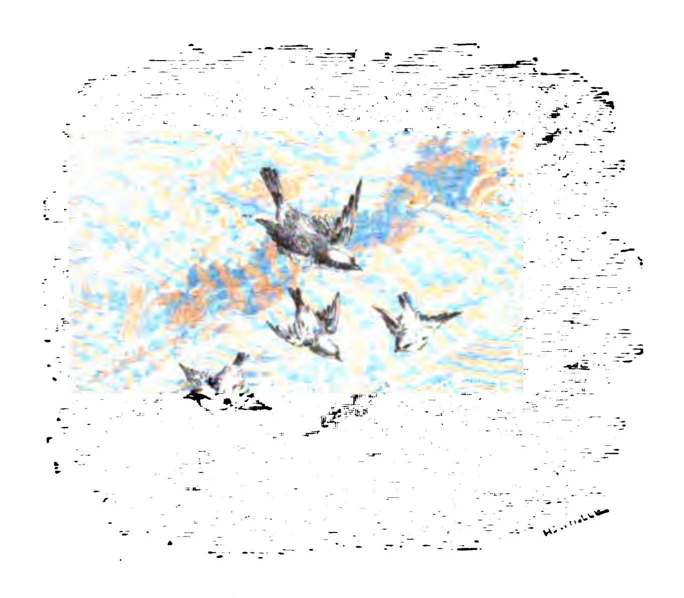


Fig. 32. — Respiration des oiseaux. Trachée-artère du pigeon.

Chez les oiseaux, la circulation est double. Le cœur est formé de deux moitiés distinctes, et leur sang est même plus riche en globules que celui de l'homme, parce qu'il est abondamment pénétré par l'air, non-seulement dans les poumons, comme chez les mammifères, mais dans les derniers rameaux de l'arbre artériel, du tronc et des membres. Ce qui distingue, en effet, l'oiseau, ce n'est pas seulement le vol, c'est surtout son mode de respiration. On ne trouve pas chez les oiseaux cette cloison mobile appelée *diaphragme*, qui chez les mammifères arrête l'air à la poitrine : l'air extérieur pénètre dans toutes les parties de leur corps, par les voies respiratoires, qui se ramifient dans tout le

tissu cellulaire et jusque dans les plumes, dans l'intérieur des os, et même entre les muscles. Leur corps, dilaté par l'air inspiré, est allégé d'une portion considérable de son poids.

Aux ailes dont les battements le soutiennent dans l'air, l'oiseau ajoute donc une respiration double, qui donne à son corps une suffisante légèreté spécifique, et de plus une circulation activée, échauffée par la pénétration de l'oxygène. La chaleur vitale est, on le sait, en rapport avec la respiration. Aussi les oiseaux, grâce à leur riche organisation, peuvent-ils vivre dans les régions les plus froides de l'atmosphère.



Joyeux et charmants habitants de l'air, cœurs palpitants, chansons vivantes, ne semble-t-il pas que ces petits êtres, si puissants dans leur apparente faiblesse, planent au-dessus de nous dans les hauteurs aériennes comme un défi perpétuel jeté à notre vanité humaine? Peut-on contempler un groupe d'oiseaux suivant en chantant les vastes plaines de l'air, sans voir en eux quelque promesse anticipée de l'avenir réservé aux efforts de l'homme, poursuivant la conquête non chimérique de l'Atmosphère?

Mais l'homme n'aura jamais cette respiration des oiseaux, et ne volera jamais par sa seule force musculaire.

Si nous considérons maintenant les insectes, plus aériens que nous, eux aussi, nous observons (et ceci n'est connu que depuis Malpighi, 1669) que leur délicat appareil respiratoire est essen-

tiellement composé de conduits membraneux, d'une grande délicatesse, dont les ramifications, en nombre incalculable, se répandent partout, et s'enfoncent dans la substance des organes, à peu près comme les racines chevelues d'une plante s'enfoncent dans le sol. Ces vaisseaux ont reçu le nom de *trachées*. Leurs communications avec l'air s'établissent ensuite de diverses façons, selon le milieu dans lequel vivent les insectes.

On sait que la plus grande partie d'entre eux passent leur vie *bercés* sur les ondes aériennes. Or l'air ambiant pénètre dans les trachées par un grand nombre d'orifices situés sur les côtés du corps, et qui ont été nommés *stigmates*. Ce sont ces points, ordinairement en forme de boutonnière, qu'on aperçoit, pour peu qu'on y regarde de près, chez un très-grand nombre d'espèces.

L'appareil respiratoire des insectes se compose tantôt de tubes élastiques seulement, tantôt d'un assemblage de tubes et de poches membraneuses. Les parois de ces tubes sont très-élastiques, et conservent toujours une forme presque cylindrique, lors même que rien ne les distend. Cette disposition est déterminée par l'existence, dans toute la longueur de la trachée, d'un fil, de consistance semi-cornée, enroulé en hélice, et revêtu extérieurement d'une gaîne membraneuse très-délicate.

Le nombre des trachées dans le corps d'un insecte est extrêmement considérable. Lyonnet a prouvé, dans son immense travail sur la *Chenille du saule*, que l'Insecte a de nombreux rapports, par ses muscles, avec les animaux supérieurs. Sans avoir tué plus de huit ou neuf individus de l'espèce qu'il voulait décrire, il eut la patience de compter leurs diverses branchies. Dans la chenille du *lossus liquiperda*, il trouva 236 branchies longitudinales et 1336 transversales. De sorte que le corps de cet être si modeste est sillonné dans tous les sens par 1572 tubes aérifères, visibles à l'œil armé d'un verre grossissant, sans compter ceux qui ne peuvent être aperçus!

Le mécanisme de la respiration, chez les insectes, est facile à comprendre. La cavité abdominale, qui loge la plus grande partie de l'appareil trachéen, est susceptible de se contracter et de se dilater alternativement. Quand le corps de l'insecte se resserre, les trachées sont comprimées et l'air en est chassé. Mais lorsque la cavité viscérale qui loge les trachées reprend sa capacité première ou se dilate davantage, ces canaux s'agrandissent et l'air dont ils sont remplis, se raréfiant par suite de cet agrandissement, ne fait plus équilibre à l'air extérieur avec lequel il com-

munique par l'intermédiaire des stigmates. Cet air extérieur se précipite donc alors dans l'intérieur des tubes respiratoires, et l'inspiration s'effectue.

Les mouvements respiratoires peuvent, du reste, s'accélérer ou



Fig. 34. — Respiration des insectes. Appareil respiratoire du hanneton.

se ralentir, suivant les besoins de l'animal. En général, on en compte entre trente et cinquante par minute. Dans l'état de repos les stigmates sont béants, et l'air arrive librement dans toutes les trachées chaque fois que la cavité viscérale se dilate. Mais ces orifices peuvent se fermer, et les insectes possèdent ainsi la faculté de suspendre à volonté toute communication entre leur appareil respiratoire et le milieu ambiant.

Quelques insectes vivent dans l'eau. Ils sont dès lors obligés de venir prendre à la surface du liquide l'air dont ils ont besoin, ou de s'emparer du peu d'air que l'eau tient en dissolution. Ces deux modes de respiration existent, sous des formes variées, chez les insectes aquatiques.

Nous venons de voir que l'appareil de la respiration acquiert chez les insectes un développement considérable. Il est dès lors facile de prévoir que cette fonction doit s'exercer avec une vive activité chez ces légers petits êtres. En effet, si on la compare à la quantité pondérable de matière organique dont leur corps se compose, les insectes font une énorme consommation d'oxygène. Les papillons, par exemple, brûlent constamment d'une flamme éternelle, malgré leur réputation.

Arrivons maintenant aux Poissons.

Il suffit de regarder un instant un poisson dans l'eau pour remarquer deux grandes ouvertures derrière la tête: ce sont les ouïes. leur bord antérieur est mobile, et se soulève et s'abaisse comme un battant de porte, pour servir à la respiration.

Sous cette espèce de couvercle sont situées les *branchies*, organes de la respiration de ces animaux aquatiques.

Les branchies sont des lamelles étroites longues et aplaties, disposés en séries parallèles, à la manière de dents de peigne, et qui sont atttachées sur des tiges osseuses, désignées sous le nom *d'arcs branchiaux*. Elles flottent ainsi dans l'eau aérée qui doit servir à la respiration de l'animal.

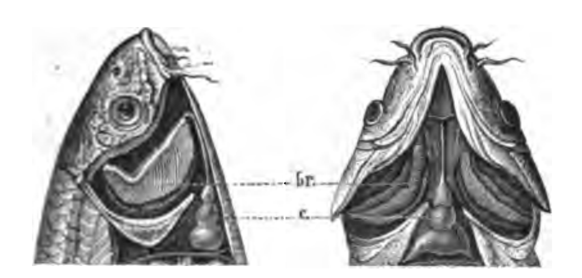


Fig. 35. — Respiration des poissons. Branchies de la carpe.
(br. : branchies. — c : cœur.)

Voici comment s'exécute la fonction respiratoire. L'eau entre par la bouche, passe, par un mouvement de déglutition, sur les fentes que les arcs branchiaux laissent entre eux, arrive aux branchies dont elle inonde la large et multiple surface, et s'échappe enfin au dehors, par les ouvertures des *ouies*. Tout le monde a observé ce double mouvement.

Pendant le contact de l'eau et des branchies, le sang qui circule dans la trame de ces organes, et qui leur communique la coloration rouge qu'on leur connaît, se combine chimiquement avec l'oxygène de l'air, que l'eau tient toujours en dissolution, quand elle coule librement, à la température ordinaire, en présence de l'air. Le sang devient ainsi oxygéné, ou artériel. — Tout le monde sait que les poissons vivent dans l'eau, mais tout le monde ne sait pas que si l'on retirait l'air de l'eau, les poissons périraient !

C'est ainsi que dans les habitants des eaux aussi bien que dans ceux du sol et de l'air, l'Atmosphère régit partout en souveraine les fonctions de la vie sur la terre.

La même conclusion résulte de l'étude attentive du règne végétal. La plante *respire*. Elle respire aussi bien que les animaux, c'est à-dire que sa sève, qui n'est autre chose que son sang, est mise en contact avec l'air au moyen de ses feuilles et de ses parties vertes qui représentent les organes respiratoires. Sous

l'influence des rayons solaires, ces organes absorbent l'acide carbonique répandu dans l'air, le décomposent, dégagent le carbone qui se fixe dans le tissu végétal et rendent l'oxygène à l'atmosphère.

Mais la respiration des plantes n'est pas toujours la même. Tandis que les animaux, le jour comme la nuit, exhalent sans cesse de la vapeur d'eau et du gaz acide carbonique, la plante possède deux modes de respiration : l'un diurne dans lequel les feuilles absorbent l'acide carbonique de l'air, décomposent ce gaz et dégagent de l'oxygène ; l'autre nocturne et inverse, dans lequel la plante absorbe de l'oxygène et dégage de l'acide carbonique, c'est-à-dire respire à la façon de l'animal.

Le carbone que la plante fixe pendant le jour est indispensable au développement parfait de ses organes et à la consolidation de ses tissus. Par sa respiration, la plante vit et s'accroît.

Il importe de remarquer que les parties vertes des végétaux respirent seules comme nous venons de le dire. Les parties non colorées en vert, comme les fruits mûrs, les graines, les feuilles rouges ou jaunes, etc., respirent, soit à la lumière, soit dans l'obscurité, à la manière des animaux; elles absorbent de l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique

Si l'on considère que les parties vertes des plantes sont très-nombreuses comparativement à celles qui sont autrement colorées; — que les nuits claires des pays chauds et lumineux ne font que diminuer plutôt qu'interrompre leur respiration diurne; — que la saison des longs jours dans les contrées du Nord est celle de la plus grande activité végétale; — on sera conduit, par ces remarques, à conclure qu'en somme les plantes vivent beaucoup plus à la lumière que dans l'obscurité, et que, par conséquent, leur respiration diurne est prépondérante sur leur respiration nocturne.

Ces organes respiratoires de la Plante, qui ont reçu le nom de *stomates* (du mot grec στόμα, bouche), se composent d'une multitude de petites chambres à air situées sous l'épiderme des feuilles; les plus grandes ont 33 millièmes de millimètre de diamètre. Sur la feuille de chêne on en compte 250 par millimètre carré. Chacune de ces *chambres* est mise en communication avec l'air extérieur au moyen d'une petite ouverture laissée entre deux cellules d'une forme spéciale et dont le rapprochement constitue *deux lèvres*. C'est dans ces petites bouches que l'air se met en rapport, à travers les parois cellulaires, avec les liquides séreux qui exhalent (pendant la durée du jour) un excès de gaz oxy-

gène, et absorbent, en revanche, une certaine quantité d'acide carbonique.

Les cellules qui bordent l'ouverture du stomate sont hygroscopiques; elles peuvent, sous l'influence de l'humidité ou de la sècheresse, s'écarter ou se resserrer; par conséquent élargir l'ouverture ou la rétrécir, et, par ce moyen, favoriser ou gêner la sortie des gaz et des vapeurs.

Cette respiration diurne des plantes, qui verse dans l'air des masses considérables de gaz oxygène, vient heureusement compenser les effets de la respiration animale, qui produit de l'acide carbonique, gaz impropre à la vie de l'homme. Les plantes purifient donc l'air altéré par la respiration de l'homme et des animaux. Si les animaux transforment en acide carbonique l'oxygène de l'air, les plantes reprennent cet acide carbonique par leur respiration diurne; elles fixent le carbone dans les profondeurs de leurs tissus, et rendent à l'atmosphère un oxygène réparateur.

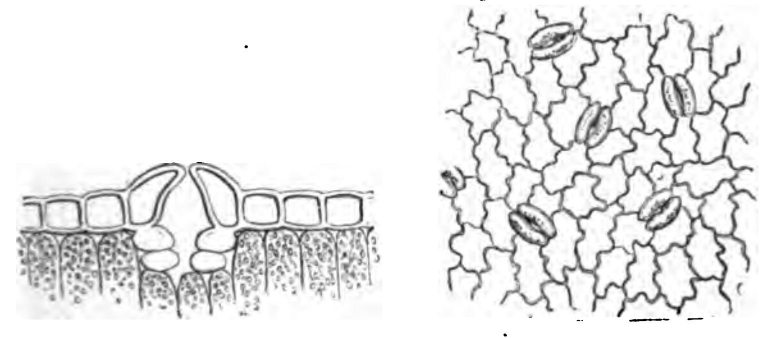


Fig. 36. — Respiration des plantes. Stomates.

Nous ne pouvons mieux terminer cette étude du travail de l'air dans l'organisation des plantes qu'en cherchant le chiffre de ce travail accompli sur la surface entière des continents.

Un hectare de forêt emprunte à l'air et fixe annuellement dans ses tissus 4000 kilogrammes de carbone.

Un hectare d'herbe en fixe 3500; un hectare de topinambours, 6000.

Or, un hectare représente 100 millions de centimètres carrés, et il arrive du soleil à la surface du sol 115 000 unités de chaleur en un an, c'est-à-dire 115 000 fois la chaleur qui élèverait un gramme d'eau de 0 à 1 degré.

Or, un kilogramme de carbone fournit 8000 unités de chaleur.

En prenant la fixation de l'acide carbonique comme équivalant en moyenne à 3000 kilogrammes de carbone par hectare, il y aurait donc 24 000 000 d'unités de chaleur déployées sur un hectare par la fixation de l'acide carbonique de l'air dans les plantes respirant sous l'influence de la lumière; 24 milliards sur 1000 hectares.

La France ayant 55 350 000 hectares de superficie, il y a, en une année, 166 milliards de kilogrammes de carbone fabriqués par les végétaux, ce qui représente une quantité de chaleur capable d'élever d'un degré centigrade 1 328 000 milliards de kilogrammes d'eau à 0 degré.

L'Europe ayant une superficie de 1 milliard d'hectares représente une fabrication annuelle de 3000 milliards de kilogrammes de carbone.

La surface terrestre occupée par le règne végétal mesure 13 milliards d'hectares. Sur cette surface entière, les plantes absorbent en un an l'énorme quantité de carbone représentée par le chiffre de 40 trillions de kilogrammes de charbon pur.

Un homme brûle, en une heure, un poids minimum de carbone égal à 9 grammes. En un jour, le poids de carbone brûlé est de 216 grammes; en un an, il est d'environ 79 kilogrammes. De sorte que, en un an, un homme de proportion ordinaire brûle un morceau de carbone dont le poids est au moins égal au sien. Si l'on essaye de se représenter le volume du carbone consommé pour faire de l'acide carbonique, pendant une vie humaine seulement, par tous les représentants de l'humanité, par tous les animaux, par tous les végétaux pendant les nuits et leurs parties colorées pendant le jour, par tous les foyers de combustion lente et de combustion vive, il se dresse, devant l'imagination effrayée, une immense montagne de charbon.

En se nourrissant des végétaux, l'homme ou l'animal mange donc du charbon; il devient comparable à un fourneau; son combustible est constitué par sa nourriture, et l'oxygène qu'il prend à l'air exécute en dedans de lui cette combustion appelée respiration.

Ainsi, la plante nourrit l'animal, et l'animal nourrit la plante. Tous les êtres vivants sont liés par la plus étroite solidarité. « En examinant de plus près les phénomènes, il devient évident, dit le docteur Bocquillon, que le règne organique est tout aussi intimement lié au règne inorganique, que tout dans la nature a son rôle à remplir, que rien n'est inutile, que la suppression radicale du

plus petit être, du moindre grain de poussière, si elle était possible, amènerait un cataclysme universel. »

En résumé, notre mode d'existence terrestre est réglé pour fonctionner sous la pression atmosphérique. On pourrait supposer tous les êtres terrestres réduits à leur plus simple expression, à leurs poumons, et tous ces poumons se gonflant et se dégonflant de seconde en seconde : c'est le tableau de la vie terrestre. Nous sommes tous comme *autant de soufflets*, les uns plus gros, les autres plus petits, mais tous soufflant sous peine de mort, aspirant l'oxygène, rejetant l'acide carbonique, et sans cesse s'emplissant et se vidant, recevant la molécule partie d'un être voisin, en envoyant une extraite de nous-mêmes à un autre animé, et établissant entre tous les êtres, végétaux et animaux, un échange continuel de molécules qui entretient l'immense, profonde et absolue fraternité de tous les enfants de la nature.

La pression atmosphérique inaugure le premier acte de la pièce que nous venons jouer sur la Terre, et le dénoûment est pour tous le dernier *soupir*. L'enfant qui vient de naître ouvre sa petite bouche pour aspirer cet air qui restera son soutien dans la vie : c'est son premier besoin. Respirer est le premier point, mais se nourrir est le second. Or, c'est encore la pression atmosphérique qui lui donnera celui-ci, car en appliquant ses lèvres sur le sein qui lui est offert, il va précisément inventer de suite une petite machine pneumatique, qui soutirera pour sa bouche la douce liqueur destinée à ses premiers mois.

Les aliments eux-mêmes que nous prendrons pendant la vie entière sont constitués des principes chimiques de l'air. Nous ne mangeons et buvons que des combinaisons d'air, comme je le disais en commençant ce chapitre, et nous sommes vraiment de l'air organisé. Respiration, alimentation, entretien des tissus, fonctionnement des organes : c'est l'Atmosphère qui règne en souveraine sur la vie tout entière.

CHAPITRE VII.

LE SON ET LA VOIX.

Parmi les œuvres de l'Atmosphère dans la vie terrestre, au milieu des heureux résultats dûs à sa présence autour du globe, l'un des effets les plus importants et les plus féconds, c'est sans contredit d'être le véhicule des pensées humaines, c'est d'envelopper le monde d'une sphère d'harmonie et d'activité qui n'existerait point sans elle.

Si, ayant vécu quelques années seulement dans la Lune, nous montions un jour de l'astre-Lune à l'astre-Terre, et que nous arrivions ici au milieu de nos paysages animés ou de nos cités populeuses, nous sentirions brusquement alors quelle est l'immensité du travail opéré par le son dans la nature.

Le rivage des mers entend sans cesse l'éternel soupir des flots et des vagues, et la voix de l'Océan trône sur les vastes falaises de granit, contournant les récifs et les corps de son tourment sans trêve. A cette clameur solennelle des plaines liquides répond le murmure permanent des courants aériens, depuis les régions équinoxiales émues par la colère rugissante des bêtes fauves jusqu'aux calmes glacés des cercles polaires. Au sein du bois silencieux, l'oreille attentive sent s'évanouir l'apparent silence et saisit le murmure confus des mille voix de la nature : les oiseaux qui s'appellent, le ruisseau qui gazouille, le vent qui courbe les branches, la sève ardente qui s'élève et fait éclater l'épiderme des arbres, la feuille qui tombe ou l'insecte qui bruit. L'Atmosphère est pleine de voix diverses; au soupir rêveur de la cascade qui tombe succède le roulement de l'avalanche, au chant du nid suc-

cède l'éclat fulgurant du tonnerre; après la paix sereine et pure des paysages solitaires, nous retrouvons le tumulte des grandes villes, les cris, tristes ou gais de l'humanité, puis le charme de la conversation, les douces causeries du soir et les bercements voluptueux de la musique aux ailes frémissantes

L'homme dont la société n'a point émoussé la fraîcheur de ses premières impressions ne voit jamais sans charme les vives teintes de l'aurore et du crépuscule, les nuances gracieuses de l'arc en ciel, les magnificences d'une aurore boréale. Combien, si nous l'observions pour la première fois, la reproduction fidèle de notre propre image, avec les touches les plus fines et les plus délicates de la physionomie, n'exciterait-elle pas notre surprise et notre enthousiasme? Un phénomène plus admirable peut-être, est celui de la parole. Quelle merveille de la voir se communiquer avec tant de fidélité à l'oreille de plusieurs milliers de spectateurs, dont elle tient les cœurs et les esprits suspendus aux lèvres éloquentes d'un orateur! Comment quelques atomes de matière peuvent-ils donner un corps à la pensée, traduire et faire partager jusqu'aux nuances les plus délicates des passions et des sentiments?

Qu'est-ce que le *son?*

C'est un mouvement produit dans l'air et qui s'y transmet par des ondulations successives. Pour être perçu par l'oreille, il faut que ce mouvement vibratoire ne soit ni trop lent ni trop rapide. Lorsque l'air agité par le son vibre en raison de 60 ondulations par seconde, il donne le son le plus *sourd* que nous puissions entendre. Lorsque ces vibrations atteignent le chiffre de 40000, c'est le son le plus aigu que notre nerf auditif puisse percevoir.



Fig. 37. — Vibrations d'une lame.

Pour apprécier la nature du mouvement sonore, supposons qu'entre les mâchoires d'un étau A, on fixe l'une des extrémités C d'une lame élastique, CD, qu'on amène l'extrémité supérieure D en D', et qu'on l'abandonne à elle-même. En vertu de son élasticité, la lame reviendra à sa position primitive; mais par suite de sa vitesse acquise, elle la dépassera, ar-

rivera en D'' et exécutera autour de CD une série d'oscillations, dont l'amplitude ira graduellement en décroissant et finira par s'éteindre au bout d'un temps plus ou moins long.

Tant que la lame élastique est suffisamment longue, les vibrations se font avec assez de lenteur, et l'œil peut les suivre directement; mais à mesure qu'on raccourcit la lame, le mouvement vibratoire devient de plus en plus rapide, et il arrive un instant où il cesse d'être perceptible à la vue. Mais alors que cesse pour ainsi dire le rôle de l'organe de la vision, celui de l'organe de l'ouïe commence, et l'oreille entend un son parfaitement net, dont la nature dépend d'ailleurs des conditions physiques du corps vibrant.

Un autre exemple de la production du son nous est fourni par la vibration d'une corde arrêtée à ses extrémités A B et pincée en son milieu. Son état vibratoire est rendu sensible par la forme de fuseau allongé qu'elle présente. C'est qu'à raison de la persistance des impressions sur la rétine et de la vitesse du mouvement vibratoire, l'œil voit la corde dans toutes ses positions à la fois, la durée d'une vibration étant inférieure à celle d'une impression lumineuse, qui est de 1 dixième de seconde.

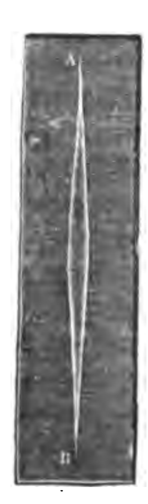


Fig. 38. Vibration d'une corde.

Le son n'est donc qu'une impression sur l'organe de l'ouïe, occasionnée par l'état vibratoire d'un corps. Mais l'existence d'un corps vibrant d'une part et de l'oreille de l'autre ne suffit point pour déterminer l'impression, il faut qu'un rapport s'établisse entre le corps et l'organe; ce qui se fait par l'intermédiaire d'un milieu pondérable, liquide ou gazeux, constitué par une matière plus ou moins élastique. Si on suppose un corps vibrant dans un espace absolument vide ou au sein d'un milieu complètement dépourvu d'élasticité, l'oreille placée à une certaine distance ne perçoit, n'entend aucun son; le son dans le sens propre du mot n'existe pas.

On peut donc, en résumé, tirer de tout ce qui précède la définition suivante du son :

Le son est une impression produite par les vibrations d'un corps, transmises jusqu'à l'organe de l'ouïe à l'aide d'un milieu pondérable et élastique quelconque.

Avec quelle vitesse le son se propage-t-il?

Les premières mesures exactes ont été effectuées en 1738, par

une commission de l'Académie des sciences, dans laquelle se trouvaient Lacaille et Cassini de Thury.

Des pièces de canon avaient été installées à Montlhéry et à Montmartre, et on était convenu qu'à partir d'une certaine heure, des coups seraient tirés à des intervalles de temps égaux; les observateurs mesuraient le temps écoulé entre l'apparition de la lumière et l'arrivée du bruit. Cette durée fut trouvée en moyenne de 1 minute 24 secondes pour une distance de 29000 mètres



Fig. 39. — Mesure de la vitesse du son dans l'air, par le Bureau des longitudes.

environ, ce qui donne une vitesse d'à peu près 337 mètres par seconde.

Ces expériences furent répétées en 1822 par le Bureau des Longitudes; les observateurs étaient Arago, Gay-Lussac, de Humboldt, Prony, Bouvard et Mathieu. On choisit pour stations Montlhéry et Villejuif, distants de 18613 mètres, et on trouva à la température de 16°, pour la vitesse de transmission, 340 mètres par seconde.

Un grand nombre d'expériences du même genre ont été exécutées dans différents pays. Tout récemment, M. Regnault s'est occupé du même sujet en utilisant toutes les ressources de la physique

moderne et particulièrement les signaux télégraphiques pour l'enregistrement de l'instant des coups de feu et de l'arrivée du son.

La vitesse du son varie avec la densité et l'élasticité de l'air, et par conséquent avec sa température. D'après les mesures les plus précises, nous pouvons former la petite table suivante pour la vitesse du son dans l'air.

Température.	Vitesse par seconde.	Température.	Vitesse par seconde.
— 15	322	+ 20	342
— 10	326	+ 25	345
— 5	329	+ 30	348
0	332	+ 35	351
+ 5	334	+ 40	354
+ 10	336	+ 45	357
+ 15	339	+ 50	360

Le son se propage dans l'air par ondulations successives, que l'on peut comparer grossièrement aux ondes circulaires qui se

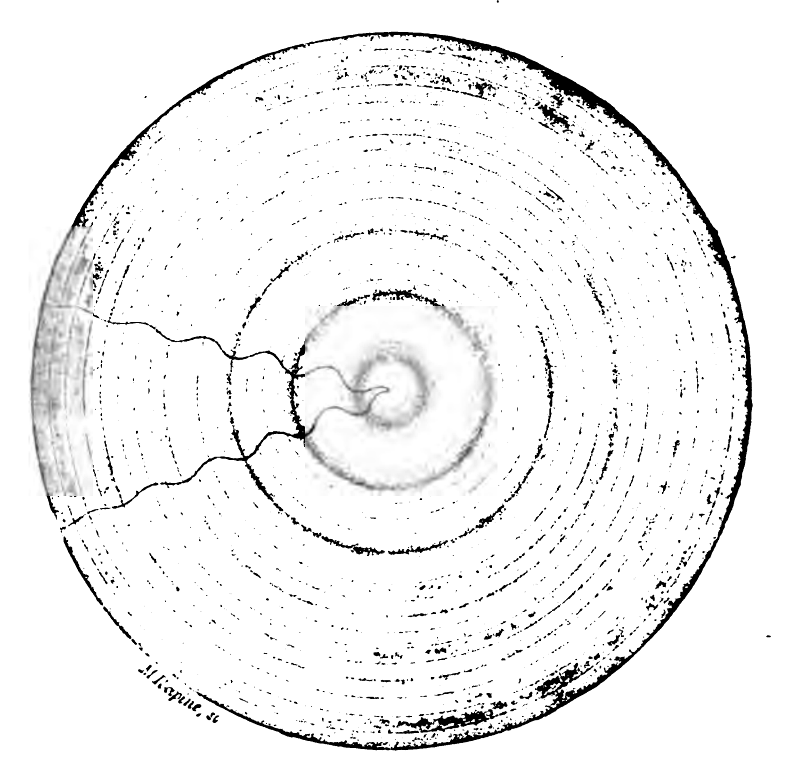


Fig. 40. — Transmission du son dans l'air.

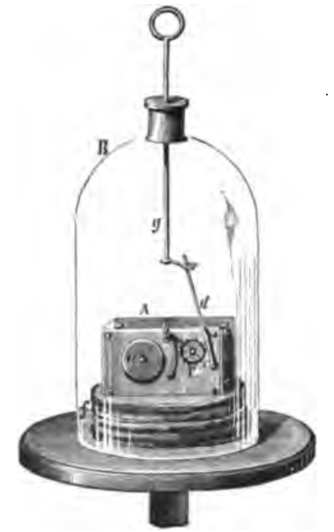
produisent à la surface de l'eau autour d'un point troublé par la chute d'une pierre. Mais ce sont en réalité des phénomènes

très-différents. Dans les ondes liquides les molécules sont alternativement soulevées et abaissées par rapport au niveau général, mais elles n'éprouvent aucun changement de densité; ce changement est au contraire caractéristique dans les ondes sonores. Il y a toutefois dans ces deux phénomènes une circonstance commune importante à signaler. L'onde ne produit aucun mouvement véritable de transport; ainsi, quand des ondes liquides se suivent, si l'on observe un petit corps flottant, on le voit alternativement soulevé et abaissé, mais il conserve la même place à sa surface. De même dans les ondes sonores les molécules d'air exécutent des mouvements alternatifs dans le sens de la propagation du son, mais le centre de ces mouvements reste invariable.

L'éducation scientifique doit nous apprendre à voir dans la nature l'invisible aussi bien que le visible; à peindre aux yeux de notre esprit ce qui échappe aux yeux du corps. Nous pouvons, avec quelque attention, nous former une idée vraie d'une onde sonore : voir mentalement les molécules d'air pressées d'abord les unes contre les autres, puis ramenées immédiatement après cette condensation, par un effet contraire de dilatation ou de raréfaction; nous nous représentons ainsi une onde sonore comme composée de deux parties : dans l'une, l'air est condensé, tandis que dans l'autre, au contraire, il est raréfié. Une condensation et une dilatation, voilà donc ce qui constitue essentiellement une onde de son.

Mais, si l'air est nécessaire à la propagation du son, qu'arrivera-t-il lorsqu'un corps sonore, par exemple un timbre d'horloge, sera placé dans un espace vide d'air? Il arrivera qu'aucun son ne pourra sortir de l'espace vide. Le marteau frappera le timbre, mais silencieusement. Le physicien Hawksbee démontra ce fait en 1705, par une expérience mémorable, devant la Société royale de Londres. Il plaça une cloche sous le récipient d'une machine pneumatique, de telle sorte que le choc du battant pouvait continuer de se produire après que l'air avait été épuisé. Tant que le récipient était plein d'air, on entendait le son de la cloche; mais on ne l'entendit plus, ou du moins il devint extrêmement faible, aussitôt qu'on eût fait le vide. Voici un appareil qui permet de mieux répéter l'expérience de Hawksbee. Sous le récipient B, pressé contre le plateau d'une machine pneumatique, se trouve un mouvement d'horlogerie A avec sonnerie. Le marteau est retenu par un encliquetage *c*. On épuise l'air aussi parfaitement que possible; puis, au moyen d'une tige *g*, qui traverse le sommet du récipient sans permettre à l'air extérieur de s'y intro-

duire, on lâche la détente *d* qui retient le marteau *b*. Le timbre *a* vibre *silencieusement*. Mais si nous laissons l'air rentrer dans le récipient, nous entendons immédiatement un son d'abord très-faible, qui devient plus fort à mesure que l'air devient plus dense.


Fig. 41.

A de grandes hauteurs dans l'atmosphère, l'intensité du son est notablement diminuée. Suivant les estimations de Saussure, la détonation d'un coup de pistolet au sommet du Mont-Blanc équivaut à celle d'un simple pétard ordinaire, au niveau de la plaine.

Puisqu'il est démontré qu'il n'y a pas de son dans le vide, des catastrophes épouvantables surviendraient à travers les espaces planétaires sans que le plus léger bruit pût arriver jusqu'à la surface de la terre.

On a représenté le mouvement vibratoire de l'air comme une onde circulaire qui se propage dans tous les sens avec une égale vitesse, et va s'affaiblissant en raison de la distance. Où s'arrête, où s'éteint le son? Il semble que ce soit dans le point de l'espace où il cesse d'être perçu par le sens le plus délicat; on sait combien cette limite varie chez les individus suivant l'organisation et les habitudes. Toutefois il n'est pas douteux que l'onde aérienne continue à se propager au loin, alors même que l'organe le plus exercé n'en a pas la sensation. Dans les lieux couverts d'une nombreuse population, le bruit incessant entretenu dans l'air par tant de milliers de personnes établit des différences caractéristiques entre le jour et la nuit; ces bruits se croisent, se confondent, se propagent quoique d'une manière confuse, et dominent tout bruit particulier. Le silence est le compagnon des ténèbres et du désert. Pendant la nuit, rien ne diminue l'intensité du son, et l'oreille perçoit dans toute leur force le grondement de la tempête, le sifflement du vent, le mugissement des vagues, le cri perçant de l'oiseau sauvage et des bêtes fauves; c'est alors aussi que naissent dans l'âme timorée les craintes pusillanimes et les terreurs superstitieuses. Traversant par une nuit profonde les plaines de la Charente en ballon, le cours d'une rivière me paraissait aussi in-

tense que le bruit de lourdes chutes d'eau, et le coassement des grenouilles élevait sa note plaintive à près de un kilomètre de hauteur. Au delà de trois kilomètres tout bruit cesse. Je n'ai jamais éprouvé de silence plus absolu et plus solennel que dans les grandes hauteurs de l'Atmosphère, dans ces solitudes glacées où nul son terrestre n'arrive.

Deux conditions déterminent essentiellement, dit Tyndall, la vitesse de l'onde sonore, savoir : l'élasticité et la densité du milieu qu'elle traverse. L'élasticité de l'air se mesure par la pression qu'il supporte et à laquelle il fait équilibre. Nous avons vu qu'au niveau de la mer, cette pression est égale à celle d'une colonne de mercure de 76 centimètres. Au sommet du Mont-Blanc, la colonne barométrique dépasse à peine la moitié de cette hauteur et par conséquent, au point le plus élevé de cette montagne, l'élasticité de l'air n'a que la moitié environ de sa valeur sur le rivage des mers.

Si nous pouvions accroître l'élasticité de l'air sans augmenter en même temps sa densité, nous augmenterions la vitesse du son. Nous l'augmenterions encore, si nous pouvions diminuer la densité sans faire varier l'élasticité. Cela posé, l'air chauffé au sein d'un vase clos, où il ne peut pas se dilater, a son élasticité accrue par la chaleur, en même temps que sa densité reste la même. Au travers de l'air ainsi échauffé, le son se propagera donc plus rapidement qu'à travers l'air libre. Pareillement l'air auquel on laisse la liberté de se dilater a sa densité diminuée par la chaleur, tandis que son élasticité reste la même, et par conséquent il propagera le son avec plus de vitesse que l'air froid : c'est ce qui arrive lorsque notre atmosphère est échauffée par le soleil. L'air se dilate et devient plus léger, volume pour volume, tandis que sa pression ou, en d'autres termes, son élasticité reste la même. Ainsi s'explique cette phrase que la vitesse du son dans l'air est de 332 *mètres par seconde, à la température de la glace fondante*. A de plus basses températures, la vitesse est moindre, et à de plus hautes températures elle est plus grande, ce qui revient en moyenne à une différence de 6 décimètres pour chaque degré de température.

Sous la même pression, c'est-à-dire avec la même élasticité, la densité de l'hydrogène est beaucoup moindre que celle de l'air, et par conséquent la vitesse du son dans le gaz hydrogène *surpasse* considérablement sa vitesse dans l'air. L'inverse a lieu pour le gaz acide carbonique, qui est plus dense que l'air : dans ce gaz, sous la même pression, la vitesse du son est moindre que dans l'air.

Le fait qu'un air, même très-raréfié, peut transmettre des sons

intenses est démontré par les explosions de météorites à de grandes hauteurs au-dessus de la terre ; il est vrai que, dans ces derniers cas, la cause initiale de la commotion atmosphérique doit être extrêmement violente.

Le mouvement sonore, comme tout autre mouvement, s'affaiblit lorsqu'il se communique d'un corps léger à un corps pesant. L'action de l'hydrogène sur la voix est un phénomène du même genre. La voix se forme par l'injection de l'air des poumons dans le larynx. Dans son passage à travers cet organe, l'air est mis en vibration par les cordes vocales, qui engendrent ainsi le son. Or, si l'on remplit ses poumons d'hydrogène et qu'on veuille parler, les cordes vocales impriment encore leur mouvement à l'hydrogène, qui le transmet à l'air extérieur ; mais cette transmission d'un gaz léger à un gaz beaucoup plus pesant a pour conséquence une diminution considérable de la force du son. Cet effet est véritablement curieux. Sir John Tyndall l'a montré à l'Institution royale de Londres. Ayant rempli ses poumons d'hydrogène par une forte inspiration, il parla : sa voix, ordinairement puissante, était rauque et caverneuse, son timbre était tombé, sa parole semblait venir des profondeurs d'un tombeau.

L'intensité du son dépend de l'intensité de l'air au sein duquel il prend naissance, et non de celle de l'air au sein duquel il est entendu.

L'onde sonore, propagée dans tous les sens à partir du point où le son a été produit, se diffuse dans la masse d'air ébranlée, qui va sans cesse en augmentant, et qui par conséquent affaiblit de plus en plus le mouvement propagé. Supposons autour du centre d'ébranlement une couche d'air sphérique d'un mètre de rayon ; une couche d'air de même épaisseur et dont le rayon est de deux mètres contient quatre fois plus d'air ; une couche de trois mètres de rayon en contient neuf fois plus ; une couche de quatre mètres en contient seize fois plus, et ainsi de suite. La quantité de matière mise en mouvement augmente donc comme le carré de la distance au centre d'ébranlement. L'*intensité* ou l'éclat du son diminue dans le même rapport. On énonce cette loi en disant que l'intensité du son varie en raison inverse du carré de la distance.

L'affaiblissement du son en raison inverse du carré de la distance, n'aurait plus lieu, si l'onde sonore se propageait dans des conditions qui ne permissent pas sa diffusion latérale. En lançant le son dans un tube dont la surface intérieure est exempte de toute as-

périté, nous réalisons ces conditions essentielles, et l'onde ainsi confinée se propage à de grandes distances, presque sans rien perdre de son intensité. Ainsi Biot, observant la transmission du son dans les tuyaux vides des conduites d'eau de la ville de Paris, trouva qu'à voix basse il pouvait entretenir une conversation à la distance d'un kilomètre. Le plus faible murmure de la voix était entendu à cette distance, et la détonation d'un pistolet à une des extrémités du tube éteignait une bougie placée à l'autre extrémité.

Les échos dépendent en grande partie de la compressibilité et de l'élasticité de l'air. L'onde sonore, avons-nous dit, se propage indéfiniment, et se perd enfin dans l'espace; mais rencontre-t-elle un corps capable de lui faire obstacle, elle éprouve une réaction pareille à celle de la lumière tombant sur un corps poli; pour que l'écho se produise avec netteté, il faut une distance de un dixième de seconde, ou de 17 mètres au moins, entre l'observateur et la surface réfléchissante. A un trop grand rapprochement, l'écho est remplacé par une résonnance confuse qui dans certains édifices, ne permet pas d'entendre la voix des orateurs.
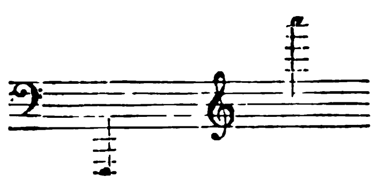
Aigus ou graves, les sons ont une vitesse égale, ils parcourent 340 mètres par seconde dans l'air à 16 degrés. A la moitié de cette distance, l'écho répond à quatre syllabes répétées rapidement; à un éloignement plus considérable, il peut réfléchir nettement un plus grand nombre de syllabes et des phrases entières. L'écho du parc de Woodshock, en Angleterre, répète dix-sept syllabes le jour et vingt la nuit. Suivant Pline on avait construit, à Olympie, un portique qui rendait les sons vingt fois. L'écho du château de Simonetti répétait, dit-on, quarante fois le même mot. La théorie ne diffère point pour les échos multiples; ils résultent des surfaces réfléchissantes opposées où l'onde aérienne est renvoyée plusieurs fois de l'une à l'autre, comme un rayon de lumière entre deux glaces parallèles.

Les sons perceptibles se trouvent renfermés entre les limites d'environ 60 et 40 000 vibrations simples par seconde, limites qui pour des oreilles exceptionnellement sensibles se reculent peut-être des deux côtés. Les ondulations de l'éther qui produit la chaleur et la lumière sont infiniment plus rapides. La chaleur obscure commence à 65 trillions de vibrations, les couleurs visibles sont comprises entre 400 et 900 trillions, les rayons chimiques atteignent déjà au quatrillon. Que deviennent les vibrations dont le champ s'etend depuis 40 000 jusqu'à 400 trillions, qui sont trop

rapides pour être sonores et trop lentes pour se faire sentir comme lumière?

L'organisme humaine est comparable à une harpe à deux cordes, qui sont le nerf auditif et le nerf optique. Le premier perçoit les mouvements vibratoires de la nature qui sont compris entre 60 et 40 000. Le second perçoit ceux qui sont compris entre 400 trillions et 900 trillions. Tous les autres mouvements ne rencontrent pas en nous de nerf susceptible de les sentir. D'où il résulte que nous ne connaissons, de la nature qui nous entoure, que deux ordres de faits, très-limités, et qu'il peut exister, sur la Terre même, à côté de nous, une quantité de choses qui ne pouvant être vues ni entendues, agissent ici sans que nous puissions le savoir.

Dans l'ensemble des sons perceptibles, les limites extrêmes de la voix humaine sont le dernier *fa* de 87 et l'*ut* le plus élevé de 4,200 vibrations.



Le son a quatre propriétés fondamentales : la durée, la hauteur, l'intensité et le timbre. Les trois premières se définissent par les mots qui servent à les exprimer; quand au timbre, c'est cette résonnance particulière à chaque instrument, à chaque voix, qui fait que nous distinguons sans peine les sons d'un violon de ceux d'une clarinette ou d'une flûte, et que nous reconnaissons les personnes en les entendant parler ou chanter.

Le *timbre* des sons a longtemps été pour les physiciens et les physiologistes une énigme insoluble. Il n'y a que quelques années seulement que les belles expériences de M. Helmholtz ont démontré qu'il dépend du nombre des sons harmoniques qui se produisent en même temps que le son fondamental, et de leur intensité relative.

L'intensité des sons émis à la surface de la terre se propage de bas en haut bien plus facilement que dans toute autre direction, et se transmet sans s'éteindre jusqu'à de grandes hauteurs dans l'atmosphère. Pour en citer quelques exemples pris dans mes voyages aéronautiques, je remarquerai d'abord qu'un bruit immense, colossal, indescriptible, règne constamment à trois et

quatre cents mètres au-dessus de Paris. En s'élevant d'un jardin relativement silencieux, comme par exemple de l'Observatoire ou du Conservatoire, on est tout surpris de pénétrer dans un chaos de sons et de mille bruits divers. Mais voici quelques détails qui montreront mieux encore cette ascension de son :

Le sifflet d'une locomotive s'entend à 3000 mètres de hauteur, le bruit d'un train à 2500 mètres, les aboiements jusqu'à 1800 mètres; un coup de fusil se perçoit à la même distance; les cris d'une population se transmettent parfois jusqu'à 1600 mètres, et l'on y discerne également bien le chant du coq et le son d'une cloche. A 1400 mètres on entend très-distinctement les coups de tambour et tous les sons d'un orchestre. A 1200 mètres le cahot des voitures sur le pavé est bien perceptible. A 1000 mètres on reconnaît l'appel de la voix humaine; pendant la nuit silencieuse le cours d'un ruisseau ou d'une rivière un peu rapide produit à cette hauteur l'effet de chutes d'eau puissantes et sonores. A 900 mètres, le coassement des grenouilles laisse entièrement apprécier son timbre plaintif. Et les si légers bruits crépusculaires du grillon champêtre (*cri-cri*) s'entendent très-distinctement jusqu'à 800 mètres de hauteur.

Il n'en est pas de même pour les sons dirigés de haut en bas. Tandis que nous entendons une voix qui nous parle à 500 mètres au-dessous de nous, on n'entend pas clairement nos paroles dès que nous planons à plus de 100 mètres.

Le jour où j'ai été le plus frappé par cette étonnante transmission des sons suivant la verticale de bas en haut, c'est pendant mon ascension du 23 juin 1867. Plongés dans le sein des nuages depuis quelques minutes, nous étions environnés de ce voile blanc et opaque nous cachant le ciel et la terre, et je remarquais avec étonnement l'accroissement singulier de lumière qui se faisait autour de nous, lorsque tout à coup les sons d'un orchestre mélodieux viennent frapper nos oreilles. Nous entendions le morceau exécuté aussi distinctement et aussi parfaitement que si l'orchestre eût été dans le nuage même, à quelques mètres de nous. Nous étions alors au-dessus d'Antony (Seine-et-Oise). Ayant relaté le fait dans un journal, j'ai reçu avec plaisir, quelques jours après, une lettre du président de la Société philharmonique de cette ville me rapportant que cette société, réunie dans la cour de la mairie, avait aperçu l'aérostat par une éclaircie, et m'avait adressé l'un de ses morceaux nuancés le plus délicatement, dans l'espérance

qu'il servirait à mes expériences d'acoustique. En vérité, on ne pouvait être mieux inspiré.

Dans cette circonstance, l'aérostat flottait à 900 mètres du lieu du concert et presque à son zénith. A 1000, 1200 et même 1400 mètres de distance, nous continuâmes d'apprécier distinctement les parties. Cette observation a été renouvelée en diverses circonstances, et j'ai toujours constaté la permanence de l'intensité des sons, et de *tous* les sons, qui marchent tous avec la même vitesse, et apportent le morceau de musique dans son intégrité.

Loin d'opposer un obstacle à la transmission du son, les nuages les renforçaient au contraire, et faisaient paraître l'orchestre voisin de nous.

Quant à la vitesse, je n'ai pu faire d'expériences qu'à l'aide de l'écho, par un bon chronomètre. Les vitesses moyennes que j'ai obtenues, composées de la double marche du son de la nacelle à la terre et de la terre à la nacelle, sont comprises entre 333 et 340 mètres.

La meilleure surface pour renvoyer l'écho est celle d'une eau tranquille. Il arrive parfois qu'un lac renvoie distinctement une première moitié de phrase, tandis que la seconde partie est difficilement achevée par la surface irrégulière du terrain de la rive.

J'ai pu, en particulier, observer la réflexion du son par diverses surfaces et étudier sa propagation dans la verticale, à travers des couches de densité différente. Lorsqu'on plane à une assez grande hauteur (3000 mètres), un son violent est renvoyé par la terre avec un timbre si singulier, qu'il ne paraît point venir d'en bas, et donne la sensation d'un accent envoyé d'un autre monde. Lorsqu'à une faible hauteur (300 à 500 mètres) on lance vers la terre un cri monosyllabique, on constate que la surface des eaux tranquilles est la préférable pour la réflexion du son. L'eau agitée par une brise, même légère, renvoie déjà le son avec trouble. La surface des prés et des champs est encore plus mauvaise. J'ai fait ces constatations avec un soin particulier, et muni du chronomètre, notamment dans mon voyage du 18 juin 1867, en passant sur le lac de St-Hubert, non loin de la forêt de Rambouillet. La surface élastique d'une eau calme renvoie intégralement les ondes sonores, avec une fidélité analogue à celle d'un miroir pour la lumière.

Lorsque le son a cessé, il règne encore dans l'air un mouvement qui peut faire vibrer les membranes disposées pour recevoir et traduire cette impression. M. Regnault a mesuré ces *ondes silencieuses*, il a déterminé les limites de longueur auxquelles s'arrête

l'onde sonore et le parcours de l'onde silencieuse qui lui fait suite. Dans une conduite de gaz, de 3 décimètres de diamètre, un coup de pistolet chargé de 1 gramme de poudre était entendu à l'autre extrémité éloignée de 1905 mètres, et en fermant le tuyau par une plaque de tôle, l'écho de ce bruit était perceptible au point de départ de ce tuyau, en prêtant une attention soutenue. La limite de la portée de l'onde sonore était donc ici de 3810 mètres. La portée des *ondes silencieuses* est beaucoup plus grande.

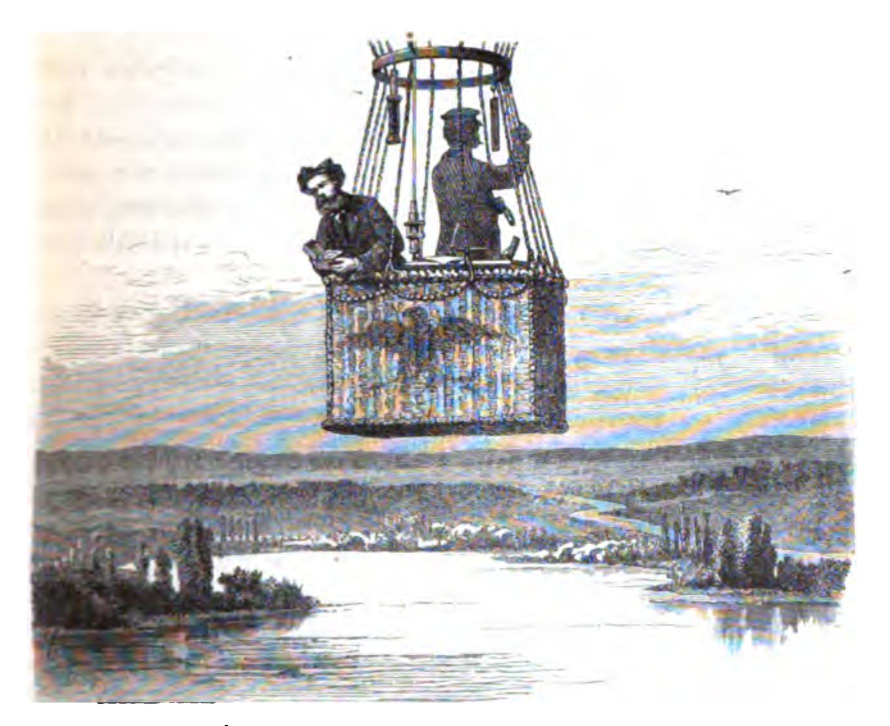


Fig. 43. — Étude de la réflexion du son à la surface des eaux tranquilles.

Quand elles n'affectent plus l'oreille, elles mettent en vibration des membranes bien au delà du point où s'arrêtent ces vibrations sonores. Ici la portée de l'onde silencieuse était de 11 834 mètres, c'est-à-dire trois fois plus longue. On a noté des parcours encore plus considérables de l'onde silencieuse.

J'ajouterai que tout récemment, le même savant a fait une détermination nouvelle de la vitesse du son dans l'air. Il a employé, pour cette mesure, la méthode dont ses devanciers avaient fait usage, c'est-à-dire les coups de canon tirés réciproquement par des observateurs placés aux deux stations. Quelques centai-

nes de coups de canon ont été échangés à cet effet, dans la plaine de Satory, par tous les temps et à toute heure du jour et de la nuit. Ces expériences n'ont fait que confirmer l'exactitude des chiffres donnés plus haut.

Véhicule du son, l'air est en même temps le véhicule des odeurs et de toutes les émanations exhalées de la surface terrestre. Mais les odeurs ne sont pas seulement dues au mouvement vibratoire, comme le son et la lumière; Fourcroy a le premier établi que les émanations odorantes sont dues à la volatilité des végétaux et des matériaux immédiats, que les odeurs sont constituées par de véritables molécules en suspension dans l'air, particules matérielles extrêmement ténues et volatilisées dans l'atmosphère. Mais ici la matière semble devenir insaisissable. Le chimiste peut bien extraire d'un corps l'huile essentielle qui lui donne son odeur, mais il ne peut isoler de cette huile son principe odorant, et jusqu'à présent il ne le connaît que par l'impression spéciale qu'en reçoit le nerf olfactif.

Rien ne donne une idée plus exacte de la divisibilité de la matière que la diffusion des odeurs. 5 centigrammes de musc placés dans une chambre y développent une odeur très-forte, pendant un temps assez long, sans perdre sensiblement de leur poids, et la boîte qui les a contenus en conserve presque indéfiniment le parfum. Haller rapporte que des papiers parfumés par un grain d'ambre gris étaient encore très-odorants après quarante années. Je me souviens d'avoir acheté sur les quais, il y a douze ans, une brochure de Reichenbach sur l'*Od*, qui avait une odeur de musc très-prononcée. Elle était restée là sans doute pendant bien des mois, exposée au soleil, au vent et à la pluie. Depuis, elle est restée sur un rayon de bibliothèque exposé à l'air. Je viens par hasard de la feuilleter. Elle est aussi musquée que jamais.

Les odeurs sont transportées par l'air à des distances considérables. Un chien reconnaît de fort loin par l'odorat l'approche de son maître; et l'on assure qu'à 10 lieues des côtes de Ceylan, le vent transporte l'odeur délicieuse de ses forêts embaumées. Ces doux parfums, comme l'harmonie et l'activité de la surface terrestre, nous les devons à la présence de l'Atmosphère.

CHAPITRE VIII.

ASCENSIONS AÉRONAUTIQUES.

ASCENSIONS DES MONTAGNES. — DIMINUTION DES CONDITIONS DE LA VIE SELON LA HAUTEUR.

L'air étant un fluide d'une certaine pesanteur, analogue à l'eau quant au principe de la pression, mais incomparablement plus léger, comme nous l'avons vu, un instant de réflexion suffit pour faire concevoir que si l'on place dans l'air un objet plus léger que l'air lui-même, cet objet s'élèvera vers les régions supérieures, de même qu'un corps plus léger que l'eau, tel que le bois ou le liége, placé au fond de l'eau, s'élève vers la surface en raison de sa légèreté spécifique.

Si l'Atmosphère formait au-dessus de la surface du globe un océan homogène, de même densité dans toute sa profondeur, et terminé comme la mer par une surface plane définie, tout corps dont la densité serait inférieure à la densité homogène de cet océan aérien, s'élèverait, lorsqu'il serait abandonné à lui-même, par la force ascensionnelle d'une poussée égale à sa différence de densité, et viendrait flotter à la surface supérieure de cette atmosphère. C'est ce qu'avaient supposé plusieurs prédécesseurs de Montgolfier, entre autres le bon P. Galien dans son fantastique projet de navigation aérienne édité en 1755. Son fameux navire pouvait contenir « 54 fois plus de poids que l'arche de Noé »; ses dimensions étaient celles de la ville d'Avignon, et il devait dépasser de 83 toises sa ligne de flottaison, car l'hypothèse laborieuse de cet excellent religieux déclarait que ce grand vaisseau de tôle flotterait

sur l'Atmosphère en vertu des mêmes principes qu'un vaisseau de ligne flotte sur l'océan !

Mais la densité des couches atmosphériques diminuant à mesure qu'on s'élève, tout objet plus léger que les couches inférieures monte simplement jusqu'à la région de densité égale au poids du volume d'air qu'il déplace, ce qui ne tarde pas à se présenter, attendu que les objets les plus légers que l'on ait pu construire jusqu'aujourd'hui (aérostats gonflés à l'hydrogène pur) n'offrent avec le poids du volume d'air qu'il déplace qu'une différence égale à celle qui sépare de la densité des couches inférieures celles situées à une hauteur relativement faible (10 à 15000 mètres au maximum, à moins d'un aérostat de dimensions colossales).

Archimède a établi pour les liquides un principe que nous pouvons exactement appliquer au fluide atmosphérique, en l'énonçant ainsi : Tout corps situé dans l'Atmosphère perd une partie de son poids absolu, égale au poids de l'air qu'il déplace.

On démontre cette perte réelle de poids dans l'air par une balance spéciale destinée, comme son nom l'indique, à *voir le poids :* le *baroscope*. Un bout du fléau porte une sphère de cuivre creuse; l'autre bout porte une petite masse de plomb faisant équilibre, dans l'air, à la sphère de cuivre. Si l'on place cet appareil sous une cloche de machine pneumatique, lorsqu'on a fait le vide, la balance s'incline du côté de la sphère, ce qui montre qu'*en réalité* elle pèse plus que la masse de plomb qui lui faisait équilibre dans l'air, ou en d'autres termes, qu'elle perdait dans l'air une partie de son poids, en raison de la supériorité de son volume sur celui du morceau de plomb. Si l'on veut vérifier, à l'aide du même appareil, que cette perte est bien égale au poids de l'air déplacé, on mesure le volume de la sphère ; s'il est, par exemple, d'un demi-litre, le poids d'un pareil volume d'air étant de $0^{gr},65$, on attache un poids égal au morceau de plomb, et l'équilibre se rétablit dans le vide, pour se rompre dans l'air.

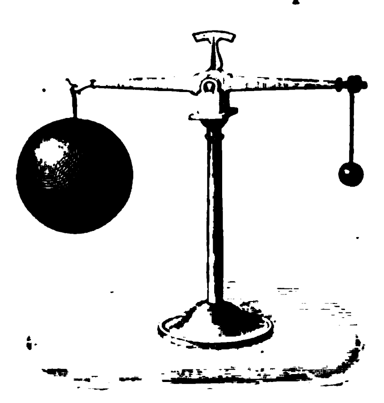


Fig. 44. — Baroscope.

Remarquons en passant, à ce propos, que lorsqu'on pèse un objet quelconque dans une balance, ce n'est pas son poids exact que l'on obtient jamais: c'est son poids apparent. Pour avoir le poids réel

d'un objet, il faudrait le peser dans le vide. Ainsi voilà une erreur constante et habituelle à laquelle on ne songe guère. Mais d'ailleurs, en poussant la question jusqu'au bout, nous pouvons nous demander ce que c'est que le poids réel d'un corps. Or le poids réel d'un corps n'existe pas. C'est un pur rapport, résultant du volume et de la densité de la planète sur laquelle nous vivons. Un kilogramme ne constitue pas une quantité absolue, malgré les apparences. La preuve, c'est que transporté à la surface du Soleil, ledit kilogramme en pèserait près de trente (29,37), tandis qu'il pèserait 2550 grammes à la surface de Jupiter et ne vaudrait plus que 220 grammes sur la Lune! Et même sans aller aussi loin, il suffirait de supposer notre Atmosphère douée d'une plus grande densité pour que nous devenions de plus en plus légers, et d'autant plus légers proportionnellement que nous occuperions plus de place; ou encore de supposer que la Terre tournât 17 fois plus vite, pour que nous ne pesions plus du tout dans les pays tropicaux, et quelques grammes insignifiants à la latitude de Paris. — Ceci pourrait servir à confirmer la doctrine de ces philosophes anglais, Berkeley en tête, qui soutenaient que la seule chose réelle, c'est qu'il n'y a rien de réel dans le monde.

Mais revenons au poids de l'air. Un aérostat n'est pas autre chose qu'un corps plus léger que le poids de l'air qu'il déplace, et qui par conséquent va chercher son équilibre dans une région supérieure, de faible densité, où il ne déplacera plus qu'un volume d'air égal à son propre poids. On voit immédiatement que loin d'être en opposition avec les lois de la pesanteur, l'ascension des ballons en est au contraire une confirmation spéciale.

Quelle que soit la substance dont on se serve pour remplir un globe de soie ou de taffetas, si l'ensemble formé par l'enveloppe, le gaz qui la gonfle, la nacelle, le filet qui la soutient, les aéronautes et les instruments, si cet ensemble, dis-je, pèse moins que l'air qu'il déplace, il constitue par là même un appareil aérostatique, et s'élève dans l'Atmosphère.

Lorsque Montgolfier lança pour la première fois un ballon dans l'espace, ce ballon était simplement gonflé par de l'air chaud. La densité de l'air chauffé à 50 degrés est de 0,84, celle de l'air à 0 degré étant représentée par 1. La densité à 100 degrés, température de l'eau bouillante, est de 0,72, ce qui ne donne guère qu'un tiers de différence pour la force ascensionnelle.

La densité de l'hydrogène pur est incomparablement plus faible, puisqu'elle est de 0,07, c'est-à-dire 14 fois moindre que celle de

l'air. Celle de l'hydrogène protocarboné est de 0,55; celle du gaz d'éclairage présente la même valeur, c'est-à-dire une légèreté environ double de celle de l'air. Le plus généralement on se sert de ce gaz d'éclairage, que l'on amène sous le ballon par un tuyau de conduite.

Par une heureuse coïncidence, fréquente dans l'histoire des sciences, le gaz hydrogène fut découvert précisément à l'époque de l'invention des aérostats. En 1782, le physicien Cavallo montra même à Londres, aux yeux de l'amphithéâtre de ses cours, des bulles de savon formées à l'hydrogène, qui s'élevaient par leur

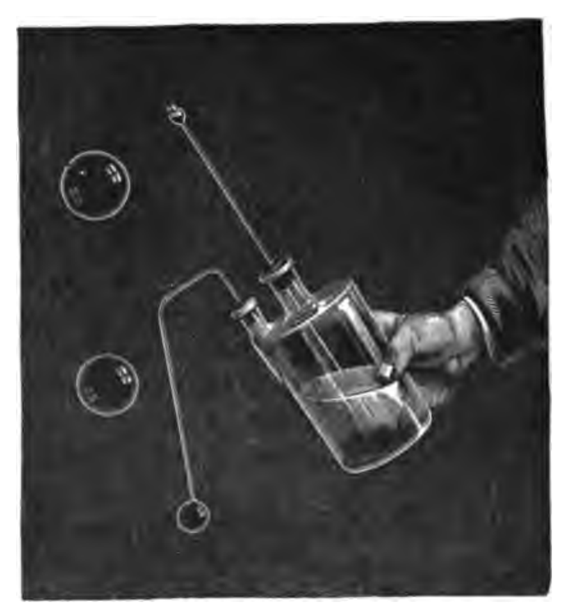


Fig. 45. — Bulles de savon gonflées à l'hydrogène.

légèreté spécifique jusqu'au plafond de la salle. C'est l'année suivante (5 juin 1783) que Montgolfier lança le premier aérostat. Avec un peu d'attention ou d'activité, Tibère Cavallo aurait pu ravir au fabricant d'Annonay l'immortalité de son invention.

Un ballon gonflé par l'air chaud garde le nom de *Montgolfière*, en souvenir de l'expérimentation du savant d'Annonay. Un ballon gonflé par le gaz prend le nom d'*Aérostat*, adopté depuis le premier gonflement au gaz, qui fut opéré par le physicien Charles, membre de l'Académie des sciences, et les frères Robert, le 27 août 1783, à Paris.

La première fois qu'une nacelle fut suspendue à un ballon, c'est sous les yeux de Louis XVI et de Marie-Antoinette, à Versailles, le 19 septembre 1783; mais ces premiers passagers d'essai étaient simplement un mouton, un coq et un canard.... Le premier véritable voyage aérien fut accompli le 21 octobre suivant par Pilâtre des Rosiers et le marquis d'Arlandes, qui s'élevèrent en Montgolfière du château de la Muette (bois de Boulogne), et descendirent au sud de Paris (Montrouge), après avoir traversé le ciel de la capitale.

Le moment du départ pénètre toujours l'âme d'une impression

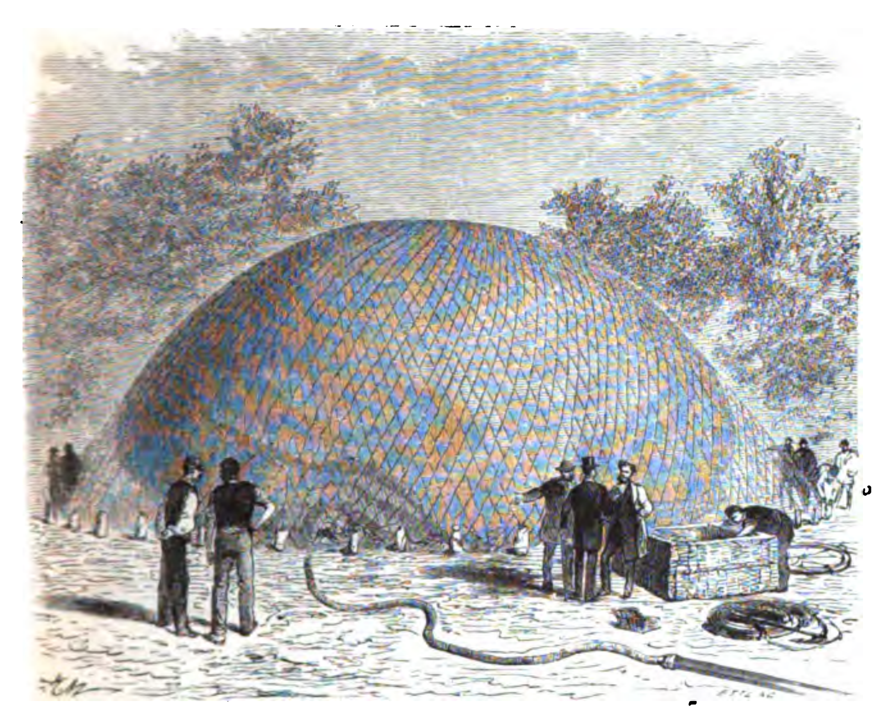


Fig. 46. — Gonflement d'un aérostat.

solennelle. J'ai fait 600 lieues dans l'Atmosphère, en dix voyages différents, dont trois nuits passées dans ces ténébreuses hauteurs, et lorsque j'ai le plaisir de monter de nouveau dans la nacelle qui va s'élever au sein des régions aériennes, j'éprouve chaque fois une impression analogue à celle qui me domina lorsque pour la première fois je me sentis emporté dans les airs.

Se sentir emporter ne donne peut-être pas exactement l'idée de la situation particulière que l'on subit alors. Il vaut mieux

dire *se voir* emporté, car on ne sent aucune espèce de mouvement, on se croirait absolument immobile, et *c'est la terre qui descend.*

Ces impressions personnelles sont sans contredit celles dont le récit peut donner l'idée la plus exacte de la réalité. Aussi me permettrai-je d'en rappeler ici quelques-unes. Ma première ascension a eu lieu le jour de l'Ascension (25 mai) de l'année 1867. Une foule nombreuse était venue me souhaiter bon voyage. Quelques intimes se tenaient tout près de la nacelle, et au-dessous, car



Fig. 47. — L'ascension.

déjà elle ne touchait plus terre. Eugène Godard ayant vérifié l'équilibre parfait du ballon ordonne à quatre aides de laisser glisser dans leurs mains, sans les échapper, les cordes qui retiennent la nacelle, et nous nous trouvons ainsi à quelques mètres au-dessus du niveau commun des hommes. Le ciel est pur, le vent est doux, la sphère aérostatique gonflée d'hydrogène s'impatiente, et cherche à s'élever enfin dans son lumineux domaine Prenant alors un sac de lest, Godard ordonne de « lâcher tout »,

verse quelques kilogrammes de sable, et l'aérostat s'élève avec une majestueuse lenteur vers le ciel qui l'appelle. Pour moi, mes instruments installés, je salue de la main notre groupe d'amis, qui déjà se resserre et bientôt ne paraît plus qu'un point au milieu de l'immensité de Paris, ouverte pour la première fois sous mes yeux, avec ses tours, ses clochers, ses flèches, ses édifices, ses boulevards, ses jardins, son fleuve.... capitale imposante dont la voix colossale monte dans l'Atmosphère comme un brouhaha gigantesque.

L'aérostat s'élève suivant une courbe oblique, résultant de deux forces composantes : sa force ascensionnelle d'une part, et la vitesse du courant aérien d'autre part. Si, comme il convient à tous les points de vue, physique et esthétique, on a soin de ne mesurer à l'aérostat qu'une légère force ascensionnelle, on voit lentement se révéler sous le regard ébloui le plus magnifique des panoramas, et lentement aussi on note les indications des instruments, qui seraient fausses sans cette précaution de leur laisser le temps nécessaire pour se mettre au degré du milieu ambiant.

Si l'on désire voguer à une faible hauteur, comme 800, 1000 ou 1200 mètres, pour des études hygrométriques spéciales, on laisse l'aérostat prendre une marche horizontale dès qu'il arrive à la couche atmosphérique de densité égale à son volume.

Si l'on désire s'élever à de grandes hauteurs, on allége l'aérostat d'un lest successivement mesuré.

L'aéronaute, le météorologiste, l'astronome, qui plane ainsi dans les airs, se trouve dans la situation la plus digne d'envie pour l'homme qui veut étudier l'Atmosphère. Pénétrant au sein des nues, les traversant pour constater la lumière et la chaleur qui les domine, suivant l'orage dans sa formation mystérieuse, étudiant la production de la pluie, de la neige, de la grêle, se transportant, en un mot, dans le lieu même où se passent les phénomènes à examiner, l'observateur est là seulement véritablement maître du globe, supérieur à la nature par son intelligence contemplative. En vain passera-t-on des années à imaginer des hypothèses au coin de son feu avec des livres et des appareils sous les yeux ; ici comme ailleurs, le meilleur moyen de savoir ce qui se passe, c'est d'*y aller voir*, comme le dit un vieux proverbe. Et certes, nulle tentative n'est plus féconde en résultats utiles.

Je ne veux point revenir ici sur un sujet largement et complétement exposé l'année dernière dans un ouvrage spécial. Le but de ce chapitre n'est pas de raconter mes voyages aériens, et les résultats scientifiques obtenus dans ces excursions se trouveront em-

ployés d'ailleurs dans les différentes études qui composent le présent ouvrage. Il importait seulement ici d'établir la théorie générale de l'ascension des aérostats, dans ses rapports avec l'étude de l'Atmosphère, et de donner une idée de ces curieuses impressions de voyage.

Si les voyages aériens peuvent être fructueusement appliqués à l'étude des forces en action dans l'Atmosphère et des lois qui président à ses mouvements si multiples, ils sont encore pour l'esprit observateur un sujet spécial d'intérêt et lui ouvrent une voie particulière de contemplation vaste et féconde. Porté dans les champs du ciel par le souffle invisible des vents et par sa légèreté spécifique, l'aérostat solitaire domine les immenses scènes de la nature, les plaines terrestres où s'accomplissent les phases de l'histoire humaine. Semblable à un planisphère, à une carte géographique déployée sur la plaine indéfinie, la terre se présente avec tous les caractères de sa topographie locale. Capitales assises au bord des fleuves, cités centrales des provinces; — villages innombrables disséminés dans la campagne, et se succédant par centaines comme ces petits châteaux dessinés en pied sur les anciennes cartes; — coteaux brunis par la vigne, sillons dorés par les blés, verdoyantes prairies, bois où gazouillent les oiseaux chanteurs, monts sourcilleux au crâne couvert de noires forêts, ruisseaux émaillés et longs fleuves descendant aux mers lointaines : toutes les beautés, souriantes ou sévères, des paysages et des perspectives se succèdent lentement sous l'œil charmé de l'aéronaute, qui, sans éprouver la secousse la plus légère, plane comme dans un rêve jusqu'au moment où il met pied à terre sur ce sol qu'il vient de contempler du haut des airs.

Une impression moins puissante, mais cependant de même ordre, nous frappe dans les ascensions de montagnes.

La pureté chimique de l'air supérieur, ses qualités vives et apéritives, la variation de la pression atmosphérique, sont des éléments physiques qu'il faut faire intervenir pour expliquer l'influence favorable du séjour des altitudes modérées. Quant à l'action toute morale que peut exercer sur les organisations impressionnables la contemplation des montagnes, où la nature a versé à flots ce mélange du gracieux et du terrible avec lequel elle atteint si aisément le pittoresque, personne ne saurait la nier.

« C'est, dit J. J. Rousseau, une impression générale qu'éprouvent tous les hommes, quoiqu'ils ne l'observent pas tous, que sur les montagnes, où l'air est plus pur et plus subtil, on se sent plus

de facilité dans la respiration, plus de légèreté dans le corps, plus de sérénité dans l'esprit ; les plaisirs y sont moins ardents, les passions plus modérées. Les méditations prennent je ne sais quelle volupté tranquille qui n'a rien d'âcre et de sensuel. Il semble qu'en s'élevant au-dessus du séjour des hommes, on y laisse tous les sentiments bas et terrestres, et qu'à mesure qu'on approche des



Fig. 48. — L'aérostat dans les airs.

régions éthérées, l'âme contracte quelque chose de leur inaltérable pureté. On y est grave sans mélancolie, paisible sans indolence, content d'être et de penser. Je doute qu'aucune agitation violente, aucune maladie de vapeurs, pût tenir contre un pareil séjour prolongé, et je suis surpris que des bains de l'air salutaire des montagnes ne soient pas un des grands remèdes de la médecine. »

Cependant, il est nécessaire de remarquer ici qu'au delà des altitudes modérées l'organisme humain peut subir une influence funeste du changement de pression atmosphérique de la sécheresse de l'air et du froid.

Les troubles physiologiques et les malaises qu'on ressent à de grandes hauteurs sont connus depuis fort longtemps. Dès le quinzième siècle, ils furent observés et décrits par Da Costa sous le nom de *mal de montagne*. Plus tard, tous les ascensionnistes, soit dans les Alpes, soit dans les Andes, ou dans l'Himalaya, soit en aérostat, notèrent ces perturbations singulières de l'organisme et émirent des théories plus ou moins rationnelles pour les expliquer. La principale cause évoquée depuis de Saussure était tout simplement la raréfaction de l'air; mais par quelle série d'actions et de réactions cette raréfaction agit-elle sur le corps humain? c'est ce qu'il était difficile de bien comprendre.

En 1804, Gay-Lussac et Biot parvinrent en ballon jusqu'à une hauteur de 4000 mètres. Le pouls de Gay-Lussac s'était alors élevé de 62 pulsations par minute à 80; celui de Biot de 79 à 111. Dans la mémorable ascension du 17 juillet 1862, MM. Glaisher et Coxwell atteignirent l'énorme élévation de 11 000 mètres. Avant le départ, le pouls de M. Coxwell était à 74 pulsations par minute; celui de Glaisher à 76. A 5200 mètres, le premier comptait 100 pulsations, le second 84. A 5800 mètres, les mains et les lèvres de Glaisher étaient toutes bleues, mais non la figure. A 6400 mètres, il entendit les battements de son cœur, et sa respiration était très-gênée; à 8850 mètres, il tomba sans connaissance et ne revint à lui que lorsque le ballon fut revenu au même niveau. A 11 000 mètres, son aéronaute ne put plus se servir de ses mains et dut tirer la corde de la soupape avec les dents! Quelques minutes de plus il perdait connaissance et probablement aussi la vie. La température de l'air à ce moment était de 32 degrés au-dessous de zéro. Dans les aérostats, toutefois, l'observateur reste immobile, il dépense peu ou point de forces, et peut ainsi atteindre de grandes hauteurs avant d'éprouver les troubles qui arrêtent bien plus bas celui qui s'élève par la seule puissance de ses muscles sur les flancs d'une haute montagne.

De Saussure, dans son ascension au mont Blanc, le 2 août 1787, a rendu compte des malaises que ses compagnons et lui-même éprouvaient déjà à une altitude assez peu élevée. Ainsi, à 3890 mètres, sur le Petit-Plateau où il passa la nuit, les guides robustes qui l'accompagnaient, pour lesquels quelques heures de marche

antérieures n'étaient absolument rien, n'avaient pas soulevé cinq ou six pelletées de neige pour établir la tente, qu'ils se trouvaient dans l'impossibilité de continuer; il fallait qu'ils se relayassent à chaque instant; plusieurs même se trouvèrent mal et furent obligés de s'étendre sur la neige pour ne pas perdre connaissance. « Le lendemain, dit de Saussure, en montant la dernière pente qui mène au sommet, j'étais obligé de reprendre haleine à tous les quinze ou seize pas; je le faisais le plus souvent debout, appuyé sur mon bâton; mais à peu près de trois fois l'une il fallait m'asseoir, ce besoin de repos étant absolument invincible. Si j'essayais de le surmonter, mes jambes me refusaient leur service; je sentais un commencement de défaillance et j'étais saisi par des éblouissements tout à fait indépendants de l'action de la lumière, puisque le crêpe double qui me couvrait le visage me garantissait parfaitement les yeux. Comme c'était avec un vif regret que je voyais ainsi passer le temps que j'espérais consacrer sur la cime à mes expériences, je fis diverses épreuves pour abréger ces repos : j'essayai, par exemple, de ne point aller au terme de mes forces et de m'arrêter un instant à tous les quatre ou cinq pas; mais je n'y gagnais rien, j'étais obligé au bout de quinze ou seize pas de prendre un repos aussi long que si je les avais faits de suite; le plus grand malaise ne se fait même sentir que huit à dix secondes après qu'on a cessé de marcher. La seule chose qui me fît du bien et qui augmentât mes forces, c'était l'air frais du vent du nord; lorsqu'en montant j'avais le visage tourné de ce côté et que j'*avalais* à grands traits l'air qui en venait, je pouvais sans m'arrêter faire jusqu'à vingt-cinq ou vingt-six pas. »

Bravais, Martins et Le Pileur, dans leur célèbre expédition au mont Blanc, en 1844, éprouvèrent et étudièrent les mêmes phénomènes sur le Grand-Plateau; en déblayant la tente en partie recouverte de neige, les guides s'arrêtaient à chaque instant pour respirer. Un secret malaise, dit Charles Martins, se traduisait sur toutes les physionomies, l'appétit était nul. Le plus fort, le plus grand, le plus vaillant des guides, s'affaissa sur la neige, et faillit tomber en syncope pendant que le docteur Le Pileur lui tâtait le pouls. Tout près du sommet, Bravais voulut savoir combien de temps il pourrait marcher en montant le plus vite possible : il s'arrêta au trente-deuxième pas sans pouvoir en faire un de plus.

Tous les malaises éprouvés par les savants dont nous venons de parler et par beaucoup d'autres voyageurs, à de grandes élévations, ont été classés dans le tableau suivant :

Respiration. — La respiration est accélérée, gênée, laborieuse; on éprouve une dyspnée extrême au moindre mouvement.

Circulation. — La plupart des voyageurs ont noté des palpitations, l'accélération du pouls, les battements des carotides, une sensation de plénitude des vaisseaux, parfois l'imminence de suffocation, des hémorrhagies diverses.

Innervation. — Céphalalgie très-douleureuse, somnolence parfois irrésistible, hébétude des sens, affaiblissement de la mémoire, prostration morale.

Digestion. — Soif, vif désir des boissons froides, sécheresse de la langue, inappétence pour les aliments solides, nausées, éructations.

Fonctions de la locomotion. — Douleurs plus ou moins fortes dans les genoux, dans les jambes; la marche est fatigante et amène un épuisement rapide des forces.

Ces troubles ne sont pas réguliers, ils n'arrivent pas tous en même temps et dépendent évidemment beaucoup des forces de l'âge, de l'accoutumance, des efforts antérieurs, etc. Ces malaises semblent éprouver avec plus d'intensité les voyageurs dans les Alpes que dans d'autres régions du globe. Ainsi, au grand Saint-Bernard, dont le couvent ne se trouve qu'à 2474 mètres d'altitude, la plupart des religieux deviennent asthmatiques. Ils sont obligés de redescendre souvent dans la vallée du Rhône pour se remettre, et au bout de dix à douze ans de service ils sont forcés de quitter le couvent pour toujours sous peine d'y devenir complétement infirmes, et cependant dans les Andes et le Thibet il y a des cités entières où tout le monde peut jouir d'une santé aussi bonne que partout ailleurs. « Quand on a vu, dit Boussingault, le mouvement qui a lieu dans les villes comme Bogota, Micuipampa, Potosi, etc., qui atteignent 2600 à 4000 mètres de hauteur; quand on a été témoin de la force et de l'agilité des toréadors dans un combat de taureaux à Quito, à 2908 mètres; quand on a vu des femmes jeunes et délicates se livrer à la danse pendant des nuits entières dans des localités presque aussi élevées que le mont Blanc, là où Saussure trouvait à peine assez de force pour consulter ses instruments, et où ses vigoureux montagnards tombaient en défaillance; quand on se souvient qu'un combat célèbre, celui du Pichincha, s'est donné à une hauteur peu différente de celle du mont Rose (4600 mètres), on accordera que l'homme peut s'accoutumer à respirer l'air raréfié des plus hautes montagnes. »

Le même météorologiste pense aussi que sur les vastes champs de neige les malaises sont augmentés par un dégagement d'air vicié

sous l'action des rayons solaires, et il s'appuie sur une expérience de Saussure, qui a trouvé l'air dégagé des pores de la neige moins chargé d'oxygène que celui de l'atmosphère ambiante. Dans certaines vallées creuses et renfermées des parties supérieures du mont Blanc, dans le *Corridor*, par exemple, on est en général en montant, si mal à l'aise que longtemps les guides ont cru que cette partie de la montagne était empoisonnée par quelque exhalaison méphitique. Aussi à présent, chaque fois que le temps le permet, passe-t-on par l'arête des Bosses, où un air plus vif empêche les troubles physiologiques de se produire avec une intensité aussi grande.

Malgré une lente accoutumance, certains animaux ne peuvent vivre au delà de 4000 mètres ; ainsi, les chats transportés à cette hauteur succombent invariablement après avoir été affectés de secousses tétaniques singulières de plus en plus fortes ; après avoir fait des sauts prodigieux, ces animaux succombent épuisés de fatigue et meurent dans un accès de convulsions.

Nous terminerons ici ces considérations relatives aux grandes hauteurs en remarquant que l'endroit habité le plus haut du globe est le cloître bouddhiste de Hanle (Thibet), où vingt prêtres vivent à l'énorme altitude de 5039 mètres. D'autres cloîtres sont bâtis à une hauteur presque égale dans la province de Guari Khorsum, sur les rives des lacs Monsaraour et Bakous ; et l'on y habite aussi l'année entière. Dans ces régions équatoriales on peut bien vivre, pendant dix ou douze jours, à 5500 mètres ; mais on ne peut y demeurer longtemps. Les frères Schlagintweit, quand ils exploraient les glaciers de l'Ibi-Gamin, au Thibet, ont campé et dormi, avec les huit hommes de leur suite, du 13 au 23 août 1855, à ces hauteurs exceptionnelles rarement visitées par un être humain. Pendant dix jours leur campement varia entre 5547 et 6442 mètres, c'est-à-dire à l'altitude la plus considérable à laquelle Européen ait jamais passé la nuit. Ces trois frères ont réussi, le 19 août 1856, à monter jusqu'à la hauteur de 7419 mètres, la plus condidérable où l'homme soit encore arrivé sur une montagne. Dans les premiers temps ils souffraient beaucoup dès que les cols qu'ils franchissaient atteignaient 17 000 pieds ; mais après quelques jours ils ne ressentaient plus, même à 19 000 pieds, qu'un malaise passager. Il est probable cependant qu'un séjour prolongé à une pareille altitude ne pourrait avoir pour la santé que des suites désastreuses.

Il y a trois ou quatre ans, Tyndall, pour se livrer à des observations scientifiques, passa la nuit entière sur le sommet du mont Blanc, abrité seulement par une petite tente. Les guides qui l'ac-

compagnaient furent tellement malades, que le lendemain matin, ils furent obligés de redescendre en toute hâte.

L'année dernière, M. Lortet, qui s'était plusieurs fois élevé sans le moindre malaise jusqu'à la hauteur de 4300 mètres sur le massif du mont Blanc, et qui doutait que 500 mètres de plus causassent les symptômes qui viennent d'être rapportés, s'éleva jusqu'au sommet pour les constater personnellement. « Maintenant, écrit-il, maintenant, je suis forcé de l'avouer, j'ai été convaincu *de visu* et même un peu à mes dépens, de l'existence bien réelle des malaises qui, à partir de cette hauteur, atteignent celui qui respire et surtout celui qui *se meut* au milieu de cet air raréfié. » — C'est aussi là le résultat de mes observations personnelles, et j'ai constaté qu'il est bien moins nuisible pour les fonctions organiques de s'élever à de grandes hauteurs en s'asseyant dans une nacelle qu'en grimpant sur les neiges.

Pour compléter notre panorama atmosphérique, il est intéressant de voir quels sont les plus hauts points des crêtes montagneuses sur lesquels la vie humaine se soit fixée, et quelles sont les plus hautes cimes des chaînes minéralogiques qui percent l'épiderme de la Terre pour allonger dans l'atmosphère raréfiée leur squelette muet et glacé.

Ces plus hauts lieux habités du globe sont :

Le cloître bouddhiste de Hanle (Thibet)..............	5039 mètres.
Cloîtres sur les flancs de l'Himalaya........... 4500 à	5000 —
La maison de poste d'Apo (Pérou)....................	4382 —
La maison de poste d'Ancomarca (id.).............	4330 —
Le village de Tacora (id.)........................	4173 —
La ville de Calamarca (Bolivie).....................	4161 —
La métairie d'Antisana (république de l'Équateur).....	4101 —
La ville de Potosi (Bolivie), pop. ancienne : 100 000....	4061 —
La ville de Puno (Pérou)............................	3923 —
La ville d'Oruro (Bolivie)...........	3796 —
La ville de Lapaz (id.	3726 —

Quito, capitale de la république de l'Équateur, est située à 2908 mètres d'altitude. La Plata, capitale de la Bolivie, est à 2844 mètres; Santa-Fé de Bogota, à 2661.

Le plus haut lieu habité de l'Europe est l'hospice du Grand-Saint-Bernard, à 2474 mètres.

Les plus hauts passages des Alpes sont : le passage du Mont-Cervin, à 3410 mètres; celui du Grand-Saint-Bernard, à 2472; du col de Seigne (2461) et de la Furka (2439). Les plus hauts passages des Pyrénées sont : le port d'Oo (3000), le port Viel-d'Estaube (2561) et le port de Pinede (2500).

Les plus hautes montagnes du globe sont :

Asie : Le Gaurisankar, ou mont Everest (Himalaya)....	8840	mètres.
Le Kanchinjinga (Sikkim, id.)	8582	—
Le Dhaulagiri (Népal, id.)	8176	—
Le Juwahir (Kemaou, id.)	7824	—
Choomalari (Thibet, id.)	7298	—
Amérique : L'Acocaga (Chili)........................	6834	—
Le Sahama (Pérou)..........................	6812	—
Le Chimborazo (répub. de l'Équateur).....	6530	—
Le Sorota (Bolivie).....................	6487	—
Afrique : Le Kilimanjaro..........................	6096	—
Le mont Woso (Éthiopie)..................	5060	—
Océanie : Le Mowna-Roa, volcan (île Sandwich).....	4838	—
Europe : Le mont Blanc............................	4815	—
Le mont Rose............................	4636	—

Ce sont naturellement les oiseaux qui représentent la population des plus hautes altitudes. Dans les Andes, le condor; dans les Alpes, l'aigle et le vautour peuvent planer au-dessus des cimes les plus élevées; ces animaux, organisés pour les plus longs voyages, sont les grands voiliers de l'océan atmosphérique, de même que les pétrels et les géantes hirondelles de mer sont les grands voiliers de l'Atlantique. Le choucas, cette espèce de corbeau d'un noir intense, qui a le bec jaune et les pattes d'un rouge vif, n'atteint pas de si grandes élévations dans l'Atmosphère, mais il est par excellence l'oiseau des hautes cimes, celui de la région des neiges et des pitons stériles. On le rencontre au sommet du mont Rose et au col du Géant, à plus de 3500 mètres.

Il est des oiseaux plus gracieux qui résident aussi dans la région des frimas et en animent quelque peu l'immobile et triste paysage. Le pinson de neige affectionne tellement cette froide patrie qu'il descend rarement jusqu'à la zone des bois. L'*accenteur* des Alpes le suit à ces grandes élévations; il préfère la région pierreuse et stérile qui sépare la zone de la végétation de celle des neiges perpétuelles; les uns et les autres s'avancent parfois à la poursuite des insectes jusqu'à 3400 ou 3500 mètres de haut.

Notre planche représente la série des principales espèces d'oiseaux suivant la hauteur maximum de leur vol.

La terre a ses oiseaux comme l'air. Certaines espèces ne se servent de leurs ailes que quelques instants et quand la marche leur devient tout à fait impossible; tels sont les gallinacés. La région des neiges a son espèce propre, comme elle a ses passereaux caractéristiques. Le lagopède ou poule de neige se rencontre en Islande comme en Suisse. Il s'élève bien au-dessus des frimas perpétuels

et reste cantonné à ces altitudes glacées; il aime tant la neige, qu'aux approches de l'été il remonte pour la trouver; il y niche, et s'y roule avec délices. Quelques lichens, des graines apportées par les airs suffisent à sa nourriture; il fait la chasse aux insectes, dont il nourrit ses poussins.

Les insectes sont, en effet, les seuls animaux qui pullulent encore dans ces régions déshéritées : c'est une nouvelle analogie avec les contrées polaires. C'est également la classe des coléoptères qui prédomine dans les hautes régions des Alpes; ils atteignent, sur le versant méridional, 3000 mètres, et 2400 sur le versant opposé. Leurs ailes sont si courtes qu'ils semblent en être dépourvus; on dirait que la nature a voulu les mettre à l'abri des grands courants d'air qui les entraîneraient infailliblement si leurs voiles n'eussent été en quelque sorte carguées. En effet, on rencontre quelquefois d'autres insectes, des névroptères et des papillons, que les vents enlèvent jusqu'à ces hauteurs, et qui vont se perdre au milieu des neiges. Les névés, les mers de glace sont couvertes de victimes qui ont ainsi péri. Cependant il est certaines espèces qui paraissent se porter librement jusqu'à des hauteurs de 4000 ou 5000 mètres. Dans mes voyages aériens, j'ai rencontré des papillons à des hauteurs où ne se montraient pas les oiseaux de nos latitudes, et au delà de 3000 mètres au-dessus du sol. M. J. D. Hooker en a observé au mont Momay, à une altitude de plus de 5400 mètres.

Tel est le tableau de la vie animale dans ces zones alpestres où la faune se réduit graduellement pour ne plus laisser place qu'à la solitude et à la désolation. Au delà du dernier étage de la végétation, au delà de l'extrême région qu'atteignent les insectes et les mammifères, tout devient silencieux et inhabité; toutefois l'air est encore plein d'infusoires, d'animalcules microscopiques, que le vent soulève comme de la poussière, et qui sont disséminés jusqu'à une hauteur inconnue. Ce sont, dit Alfred Maury, des germes nageant dans l'espace, qui attendent, pour se fixer et devenir le point de départ d'une faune nouvelle, l'apparition d'un autre soulèvement, d'un nouvel exhaussement du globe.

Nous nous occuperons, dans le troisième Livre, des glaciers et du rôle des montagnes dans la météorologie. Il était important ici de terminer ce premier Livre, sur le fluide vital, par l'examen de la diminution de la vie avec la hauteur. — Nous arrivons maintenant à l'étude de la Lumière et des merveilleux phénomènes optiques de l'air.

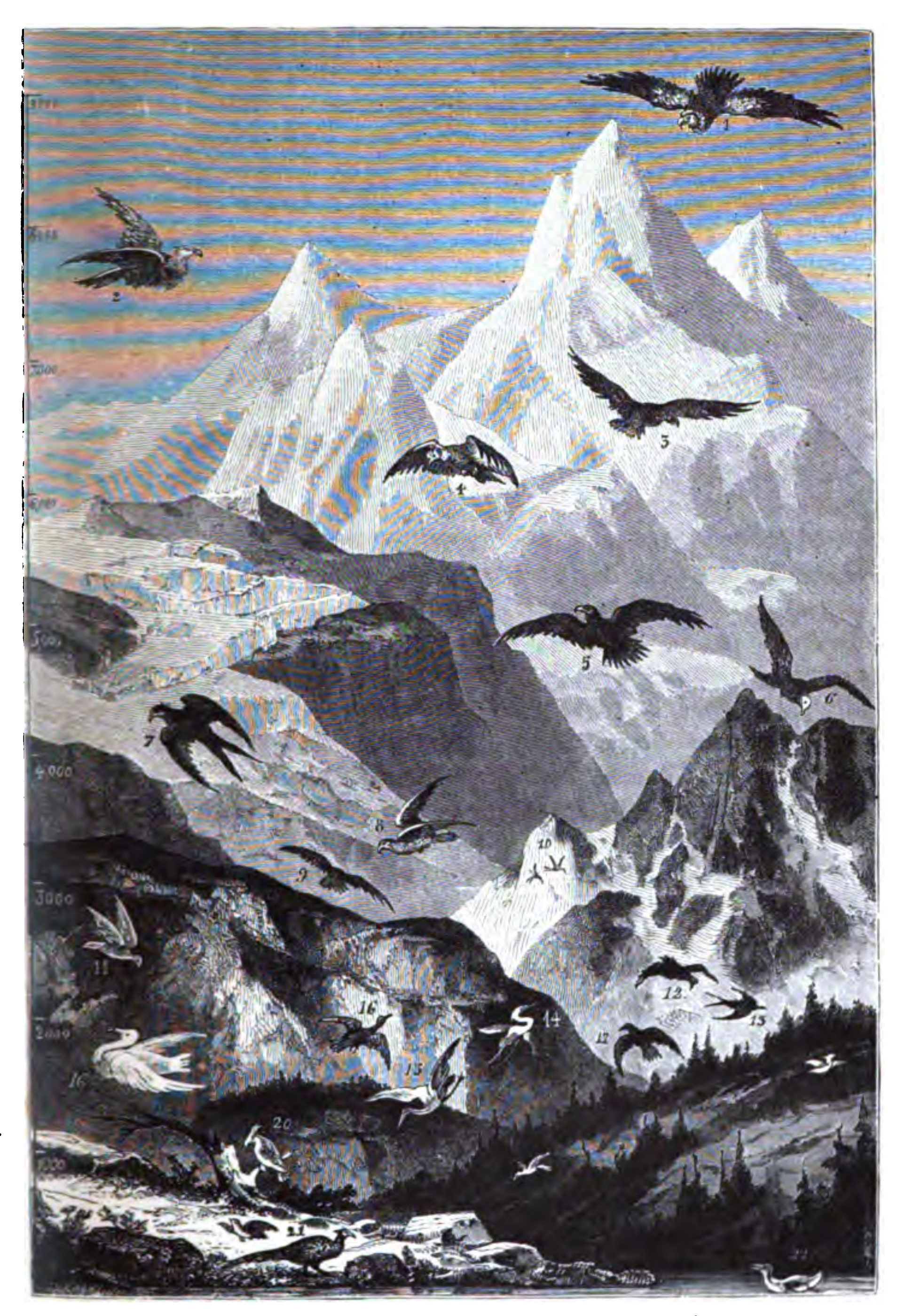


Fig. 49. — Distribution des espèces d'oiseaux selon la hauteur de leur vol.

1. Condor (a été observé volant jusqu'à 9000 mètres). — 2. Gypaïté. — 3. Vautour fauve. — 4. Sarcoromphe. — 5. Aigle. — 6. Urubu. — 7. Milan. — 8. Faucon. — 9. Épervier. — 10. Oiseau-mouche. — 11. Pigeon. — 12. Buse. — 13. Hirondelle. — 14. Héron. — 15. Grue. — 16. Canard et Cygne (vivant sur les lacs jusqu'à 1800 mètres d'altitude). — 17. Corbeau. — 18. Alouette. — 19. Caille. — 20. Perroquet. — 21. Perdrix et faisan. — 22. Pingouin.

LIVRE DEUXIÈME

LA LUMIÈRE ET LES PHÉNOMÈNES OPTIQUES DE L'AIR

CHAPITRE I.

LE JOUR.

Si l'Atmosphère remplit, sur notre planète, le rôle fondamental d'organisatrice de la vie, si tous les êtres, végétaux et animaux, sont constitués pour respirer dans son sein et construire à l'aide de ses molécules fluidiques le tissu solide des organismes, nous allons admirer maintenant que cette brillante atmosphère est encore la grande joie de la nature ; que non-seulement le fond, mais encore la forme sont dus à sa présence; que sans elle le monde se traînerait péniblement dans l'espace, triste et décoloré; que par elle il est joyeusement transporté dans les champs du ciel, au milieu des brises et des parfums, sur une couche éthérée de pourpre et d'azur, et sous l'éclat rayonnant d'un éternel sourire.

Voûte bleue d'un ciel calme et pur, douce coloration des aurores, magnificences enflammées des crépuscules, beauté charmante des paysages solitaires, perspectives vaporeuses des campagnes, et vous, miroir limpide des lacs, qui souriez mélancoliquement au ciel en reflétant l'imposante stature des neiges éternelles : votre existence et votre beauté ne sont dues qu'à ce fluide léger et puissant étendu sur le globe terrestre. Sans lui, nulle de ces perspectives, nulle de ces nuances n'existerait. Au lieu d'un ciel d'azur, nous n'aurions qu'un espace noir insondable; au lieu des sublimes levers et couchers de soleil, le jour et la nuit se succéderaient brusquement; au lieu de ces demi-teintes qui font régner une douce lumière partout où Phœbus ne lance pas directement ses flèches éblouissantes, il n'y aurait de clarté qu'aux points éclairés par l'astre brillant, et l'obscurité partout ailleurs : notre planète n'offrirait aucune demeure habitable.

CHAPITRE I.

LE JOUR.

Si l'Atmosphère remplit, sur notre planète, le rôle fondamental d'organisatrice de la vie, si tous les êtres, végétaux et animaux, sont constitués pour respirer dans son sein et construire à l'aide de ses molécules fluidiques le tissu solide des organismes, nous allons admirer maintenant que cette brillante atmosphère est encore la grande joie de la nature; que non-seulement le fond, mais encore la forme sont dus à sa présence; que sans elle le monde se traînerait péniblement dans l'espace, triste et décoloré; que par elle il est joyeusement transporté dans les champs du ciel, au milieu des brises et des parfums, sur une couche éthérée de pourpre et d'azur, et sous l'éclat rayonnant d'un éternel sourire.

Voûte bleue d'un ciel calme et pur, douce coloration des aurores, magnificences enflammées des crépuscules, beauté charmante des paysages solitaires, perspectives vaporeuses des campagnes, et vous, miroir limpide des lacs, qui souriez mélancoliquement au ciel en reflétant l'imposante stature des neiges éternelles : votre existence et votre beauté ne sont dues qu'à ce fluide léger et puissant étendu sur le globe terrestre. Sans lui, nulle de ces perspectives, nulle de ces nuances n'existerait. Au lieu d'un ciel d'azur, nous n'aurions qu'un espace noir insondable; au lieu des sublimes levers et couchers de soleil, le jour et la nuit se succéderaient brusquement; au lieu de ces demi-teintes qui font régner une douce lumière partout où Phœbus ne lance pas directement ses flèches éblouissantes, il n'y aurait de clarté qu'aux points éclairés par l'astre brillant, et l'obscurité partout ailleurs : notre planète n'offrirait aucune demeure habitable.

Que le ciel soit pur ou couvert, il se présente toujours à nos yeux sous l'aspect d'une voûte surbaissée. Loin d'offrir la forme d'une circonférence, il paraît abaissé, aplati, au-dessus de nos têtes, et se prolonger insensiblement en descendant peu à peu jusqu'à l'horizon. Les anciens avaient pris cette voûte bleue au sérieux. Mais, comme le dit Voltaire, c'est aussi intelligent que si un ver à soie prenait sa coque pour les limites de l'univers. Les astronomes grecs la représentaient comme formée d'une substance cristalline solide, et jusqu'à Copernic un grand nombre d'astronomes l'ont considérée comme aussi solide que du verre fondu et durci. Les poëtes latins placèrent sur cette voûte, au-dessus des planètes et des étoiles fixes, les divinités de l'Olympe et l'élégante cour mythologique. Avant de savoir que la Terre est dans le ciel et que le ciel est partout, les théologiens avaient installé dans l'empyrée la Trinité, le corps glorifié de Jésus, celui de la Vierge Marie, les hiérarchies angéliques, les saints et toute la milice céleste.... Un intéressant missionnaire du moyen âge raconte même que, dans un de ses voyages à la recherche du Paradis terrestre, il atteignit l'horizon où le ciel et la terre se touchent, et qu'il trouva un certain point où ils n'étaient pas soudés, où il passa en pliant les épaules sous le couvercle des cieux.... Or cette belle voûte n'existe pas! Déjà je me suis élevé en ballon plus haut que l'Olympe grec, sans être jamais parvenu à toucher cette tente qui fuit à mesure qu'on la poursuit, comme les pommes de Tantale.

Mais quel est donc ce bleu qui certainement existe, et dont le voile nous cache les étoiles pendant le jour?

Cette voûte, que nos regards contemplent, est formée par les couches atmosphériques qui, en réfléchissant la lumière émanée du Soleil, interposent entre l'espace et nous une sorte de voile fluidique qui varie d'intensité et de hauteur suivant la densité variable des zones aériennes. On a été très-longtemps à s'affranchir de cette illusion, et à constater que la forme et les dimensions de la voûte céleste changent avec la constitution de l'Atmosphère, avec son état de transparence, avec son degré d'illumination.

Une partie des rayons lumineux envoyés par le Soleil à notre planète est absorbée par l'air, l'autre réfléchie; l'air néanmoins n'agit pas également sur tous les rayons colorés dont se compose la lumière blanche : il se comporte comme un verre laiteux, laisse passer plutôt les rayons de l'extrémité rouge du spectre solaire, et réfléchit au contraire les rayons bleus; mais cette différence n'est sensible que lorsque la lumière traverse de grandes masses d'air.

De Saussure a fait voir que la couleur bleue du ciel est due à la réflexion de la lumière, et non pas à une couleur propre aux particules aériennes. Si l'air était bleu, dit-il, les montagnes éloignées et couvertes de neige devraient paraître bleues, ce qui n'est pas. Une expérience de Hassenfratz prouve aussi que le rayon bleu est réfléchi avec plus de force. En effet, plus la couche atmosphérique qu'un rayon traverse est épaisse, et plus les rayons bleus disparaissent pour laisser la place aux rouges; or, quand le soleil est près de l'horizon, le rayon parcourt une plus grande épaisseur d'air; aussi cet astre nous paraît-il rouge, pourpre ou jaune. Les rayons bleus manquent souvent aussi dans les arcs-en-ciel qui apparaissent peu de temps avant le coucher du soleil.

Nous verrons plus loin que c'est la vapeur d'eau répandue dans l'air qui joue le rôle principal dans cette réflexion de la lumière à laquelle est due l'azur du ciel et la clarté diffuse du jour.

Tout récemment, John Tyndall, le savant professeur anglais, vient de reproduire la couleur bleue du ciel et la teinte des nuages dans une expérience de l'Institution royale. On introduit dans un tube de verre de la vapeur de diverses substances, soit de nitrite de butyle, soit de benzine, soit de sulfure de carbone. Puis on fait passer un faisceau de lumière électrique à travers, et l'on augmente à volonté la condensation et la raréfaction de la vapeur. Dans tous les cas où les vapeurs employées, quelle qu'en soit la nature, sont suffisamment atténuées, la réflexion de la lumière se manifeste d'abord par la formation d'un nuage bleu de ciel. Il y a, je suppose, dans le tube, une demi-atmosphère d'air mélangé avec la vapeur, et une autre demi-atmosphère d'air ayant passé à travers de l'acide chlorhydrique. On varie pour l'étude la proportion comme la densité des gaz.

Le nuage vaporeux, après avoir offert d'abord la teinte bleue, se condense et blanchit, et, en s'épaississant, devient absolument semblable aux véritables nuages, offrant à la polarisation les mêmes variations de phénomènes.

L'air atmosphérique est un des corps les plus transparents qui soient connus ; quand il n'est point chargé de brouillards ou obscurci par d'autres corps nous pouvons voir des objets placés à une très-grande distance : les montagnes ne disparaissent à nos regards que lorsqu'elles se trouvent au-dessous de l'horizon. Mais, malgré son faible pouvoir absorbant, l'air n'est cependant pas complétement transparent. Ses molécules absorbent un portion de la lumière qu'elles reçoivent, en laissent passer une par

tie et réfléchissent la troisième : de là vient qu'elles donnent naissance à une voûte apparente, illuminent les objets terrestres que le soleil n'éclaire pas directement, et déterminent une transition insensible entre le jour et la nuit.

On peut s'assurer par des observations journalières de l'affaiblissement de la lumière solaire pendant son passage à travers l'Atmosphère. Si l'on considère pendant plusieurs jours le même objet situé près de l'horizon, on constate qu'il est tantôt très-visible, tantôt beaucoup moins. La distance à laquelle les détails disparaissent est tantôt plus petite, tantôt plus grande : on peut s'en convaincre par des mesures directes et exprimer la transparence de l'air par des nombres, comme de Saussure l'a fait au moyen de son *diaphanomètre*.

La distance à laquelle les objets disparaissent ne dépend pas uniquement de l'angle visuel, mais encore de leur mode d'éclairement et du contraste que leur couleur fait avec les objets environnants. C'est ce qui explique pourquoi les étoiles, malgré leur petit diamètre, sont si visibles sur la voûte du ciel. Il en est de même des objets terrestres : on a de la peine à distinguer un homme lorsqu'il se projette sur des champs ou des surfaces noires, mais il est très-visible s'il est placé sur une élévation de manière à se projeter sur un ciel éclairé : de là les illusions d'optique si communes dans les pays de montagnes.

Tandis que la chaîne des Alpes vue de la plaine à une grande distance est nettement visible dans ses moindres contours, le spectateur placé sur un de ses sommets ne distingue presque rien dans la plaine. Du Faulhorn, par exemple, on distingue avec une grande netteté la chaîne des hautes Alpes, mais que tout reste confus dans la plaine. Les sommets du Pilate, la forêt Noire et les Vosges, à une grande distance, sont nettement dessinés, tandis que rien n'est distinct dans la plaine entre les Alpes et le Jura. Tous ceux qui ont passé quelques mois sur les lacs et les montagnes de la Suisse ont fait la même observation sur la variation de la visibilité des objets.

Pour mesurer l'intensité de la couleur bleue, de Saussure a inventé le *cyanomètre*, qui se compose simplement d'une bande de papier divisée en 30 rectangles dont le premier est de bleu de colbalt le plus foncé, tandis que le dernier est presque blanc, les rectangles intermédiaires offrent toutes les nuances imaginables entre le bleu foncé et le blanc. Si l'on trouve que le bleu de l'un de ces rectangles est identique avec celui du ciel, alors on explique cette

identité par un numéro correspondant à l'un des rectangles, et tout se réduit à dresser l'échelle de l'instrument.

Humboldt a perfectionné l'appareil de Saussure et l'a mis en état de donner des mesures très-délicates de la teinte bleue. (On peut même se souvenir à ce propos de la boutade de lord Byron, qui avait proposé de s'en servir pour apprécier la nuance exacte des *bas-bleu.*)

La contemplation seule du ciel nous prouve déjà que sa couleur n'est pas la même à tous les points d'une même verticale; elle est ordinairement plus foncée au zénith, puis s'éclaircit vers l'horizon, où elle est souvent complétement blanche. Le contraste devient encore plus frappant par l'usage du cyanomètre. Ainsi, on trouve parfois que la couleur correspond au numéro 23, dans le voisinage du zénith, et au numéro 4 près de l'horizon. Mais la couleur de la même partie du ciel change aussi assez régulièrement pendant le jour, en ce qu'elle devient plus foncée depuis le matin jusqu'à midi, et redevient plus claire depuis ce moment jusqu'au soir. Dans nos climats, le ciel a la couleur bleue la plus foncée lorsqu'après une pluie de plusieurs jours le vent d'est chasse les nuages.

La couleur du ciel est modifiée par la combinaison de trois teintes : le bleu qui est réfléchi par les particules aériennes, le noir de l'espace infini, qui forme le fond de l'Atmosphère, et enfin le blanc des vésicules de brouillard et des flocons de neige, qui nagent dans les hauteurs. Quand nous nous élevons assez haut dans l'Atmosphère, nous laissons une grande partie des vésicules de vapeur au-dessous de nous. Ainsi les rayons blancs arrivent à l'œil en moindre proportion, et, le ciel étant couvert de moins de particules qui réfléchissent la lumière, sa couleur devient d'un bleu plus foncé. « Au-dessus de 3000 mètres de hauteur, le ciel paraît obscur et impénétrable, disais-je dans une communication à l'Institut (juillet 1868) sur mes Études météorologiques faites en ballon, sa nuance est un gris-bleu foncé dans les régions qui avoisinent le zénith; il est bleu-azur dans la zone élevée de 40 à 50 degrés, bleu pâle et blanchissant en approchant de l'horizon. L'obscurité du ciel supérieur est ordinairement proportionnelle à la décroissance de l'humidité. Lorsque l'Atmosphère est très-pure, il semble qu'un léger voile bleu transparent s'interpose au-dessous de nous, entre la nacelle et les intenses colorations de la surface terrestre. »

La nature du sol joue un rôle important dans ces effets de réflexion et de transparence atmosphérique.

Dans les régions où existent de vastes surfaces presque dénuées

de végétation, comme dans une grande partie de l'Afrique, l'air est très-sec et perd une partie de sa transparence, à cause surtout des poussières enlevées par les vents et de l'absence des grandes pluies pour nettoyer l'air. Dans les autres parties de la zone intertropicale, sur l'Atlantique, sur le continent américain, dans les îles de la mer du Sud et dans certaines régions de l'Inde, la vapeur d'eau à l'état de gaz transparent est abondamment mêlée à l'air, et au lieu de la couleur bleu grisâtre qu'il possède dans nos climats et dans les déserts sablonneux, le ciel présente une teinte d'un bleu d'azur vigoureusement accentué qui lui donne un caractère spécial dans la région du zénith, et même parfois jusqu'à l'horizon.

La surface courbe qui limite l'Atmosphère étant parallèle à celle de la Terre, et son épaisseur étant nulle, comparée à la masse du sphéroïde terrestre, nous pouvons admettre que le plan de la portion de l'Atmosphère que l'œil peut embrasser est sensiblement parallèle à l'horizon. Si le soleil était au zénith, ses rayons parcourraient le chemin le plus court pour arriver jusqu'à nous; plus le soleil s'approche de l'horizon, plus l'épaisseur aérienne que les rayons ont à parcourir devient considérable, et par conséquent plus l'éclat des rayons s'affaiblit : c'est ce que l'expérience prouve tous les jours. La lumière du soleil ou de la lune à leur passage au méridien est éblouissante, tandis qu'on peut regarder ces astres à l'œil nu lorsqu'ils sont rapprochés de l'horizon; par la même raison les régions situées près de l'horizon paraissent toujours dépourvues d'étoiles.

La couleur du ciel est donc expliquée par la réflexion de la lumière sur les molécules de la vapeur d'eau invisiblement répandue dans l'air. Maintenant, comment expliquerons-nous la forme



Fig. 50. — Premier effet de perspective.

très-sensible de *voûte* surbaissée offerte par le ciel soit couvert soit même affranchi de tout nuage?

Pour moi, je m'explique ce surbaissement de la voûte apparente du ciel par un simple effet de perspective.

Je suppose que nous ayons devant nous une avenue de peupliers d'égale hauteur (fig. 50). Tout le monde sait que cette hauteur va aller en diminuant selon la distance, et que les peupliers de l'extrémité de l'avenue arriveront à se confondre même avec la surface générale du sol.

Les pieds des arbres restent sur une surface horizontale parce que nous sommes sur le sol. C'est *par la ligne de faîte* que s'opère l'inclinaison vers la terre. Si nous étions perchés

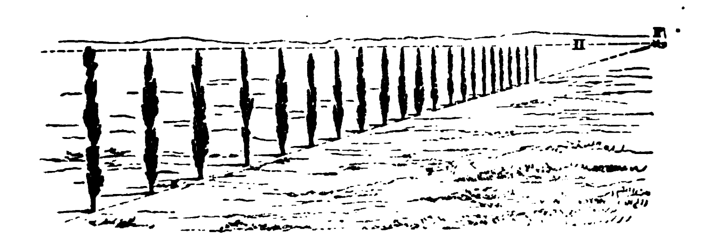


Fig. 51. — Second effet de perspective.

sur le premier arbre, les têtes resteraient au niveau de notre œil, et c'est *par le bas* que la diminution perspective s'opérerait (fig. 51).

Le même raisonnement peut s'appliquer aux nuages. A partir de ceux qui sont à notre zénith, perpendiculairement au-dessus de nos têtes, ils vont en s'abaissant progressivement, selon leurs distances jusqu'à l'horizon.

Lorsqu'on a dépassé les nuages en ballon, on ne les voit point s'abaisser comme une voûte sur la terre, mais s'étendre comme la surface plane d'un immense océan de neige.

Lorsqu'on atteint une hauteur de quelques kilomètres seulement au-dessus d'eux, on les voit courbés en sens contraire.

Par un ciel pur, la surface de la terre, vue d'une grande hauteur, est *creuse* au-dessous de la nacelle et se relève lentement tout autour jusqu'à l'horizon circulaire. Loin de paraître bombée comme on pourrait s'y attendre en supposant qu'à une grande hauteur dans l'Atmosphère on reconnaîtrait déjà la sphéricité du globe, la surface du sol se creuse au-dessous de nous, pour s'élever jusqu'à l'horizon qui semble rester toujours à la hauteur de notre œil. Cette illusion s'explique de la même façon que la précédente. Supposons qu'une centaine de ballons soient retenus captifs chacun par un câble à une égale hauteur (par

exemple mille mètres), et que nous soyons dans le premier de ces aérostats alignés en file. Ils se tiennent tous à la hauteur de notre œil. Mais les lignes qui les rattachent à la terre vont diminuer de longueur apparente suivant leurs distances à notre œil. Le câble situé à deux kilomètres de nous, nous paraîtra moitié plus petit que celui situé à un kilomètre. Or c'est *par le. bas* que les longueurs diminueront de plus en plus, puisque tous les aérostats sont au niveau de notre œil; et comme le raisonnement est applicable à quelque direction que ce soit, on voit que la surface visible entière de la terre se relève par la perspective jusqu'au plan horizontal passant par l'œil de l'observateur.

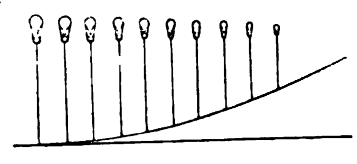


Fig. 52. — La perspective.

Cet aspect de la terre se creusant en cuvette m'a extraordinairement surpris la première fois que je l'ai remarqué en ballon, car à la hauteur où je me trouvais, j'espérais la voir bombée.

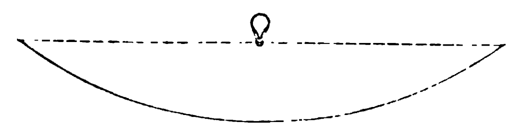


Fig. 53. — La surface de la terre, vue d'un ballon.

Ainsi l'abaissement de la voûte apparente du ciel au-dessus de nos têtes est dû à un effet de perspective, d'autant plus facile à justifier, que nos yeux ne jugent pas du tout les longueurs verticales de la même manière que les longueurs horizontales. Un arbre de quinze mètres de hauteur nous paraît beaucoup plus long couché que debout. Une tour de cent mètres de hauteur nous paraîtrait beaucoup plus longue couchée sur le sol que perdue dans l'air. Ayant l'habitude de marcher et non de nous élever, nous apprécions les longueurs à leur juste valeur, tandis que les hauteurs restent en dehors de notre jugement direct.

Il résulte de cette forme apparente de la voûte céleste que les constellations nous paraissent beaucoup plus grandes vers l'horizon qu'au zénith (exemples : la Grande-Ourse quand elle rase l'horizon et Orion à son lever), et que le soleil et la lune offrent un disque plus large à leur lever et à leur coucher qu'au moment de leur culmination.

Il en résulte encore que nous nous trompons constamment dans l'évaluation directe de la hauteur des astres au-dessus de l'horizon.

Une étoile qui est à 45° de hauteur, c'est-à-dire juste au milieu du chemin entre l'horizon et le zénith, nous paraît singulièrement plus haute, et lorsque nous montrons du doigt une étoile que nous jugeons à 45°, il se trouve qu'elle n'est qu'à 30°.

Les traités modernes de physique et de météorologie ne se sont pas occupés de cette curieuse question de l'aspect du ciel. Je la trouve discutéé dans quelques ouvrages des dix-septième et dix-huitième siècles, mais plutôt sous un certain aspect philosophique que dans son explication purement géométrique. Après une grande querelle de Mallebranche et Régis sur ce point, Robert Smith l'examina dans son optique (1728), et conclut que le diamètre horizontal de la voûte céleste doit nous paraître six fois plus long que le diamètre vertical. Il pense que cet effet est dû à ce que « notre vue ne s'étend distinctement que jusqu'au point où les objets font, dans notre œil, un angle de la huit millième partie d'un pouce, de sorte que tous les objets s'abaissent pour

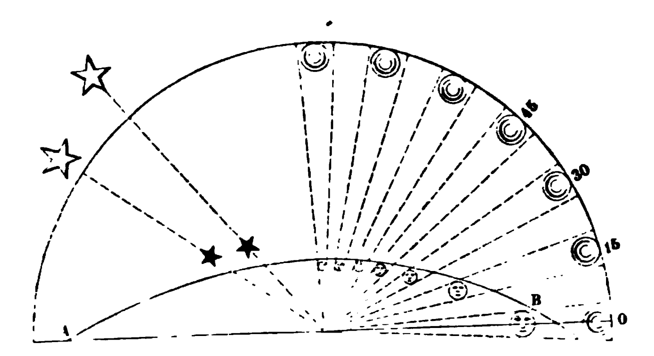


Fig. 54. — Explication de la voûte apparente du ciel et de ses effets.

nous à l'horizon à la distance de 25 000 pieds, ou une lieue et deux tiers. » Voltaire, dans son édition de la *Philosophie de Newton* et dans son *Dictionnaire philosophique*, développe ce sujet controversé. « Les lois de l'optique, dit-il, fondées sur la nature des choses, ont ordonné que de notre petit globe nous verrons toujours le ciel matériel comme si nous en étions le centre, quoique nous soyons loin d'être centre; que nous le verrons toujours comme une voûte surbaissée, quoiqu'il n'y ait d'autre voûte que celle de notre atmosphère, laquelle n'est point surbaissée;

« Que nous verrons toujours les astres roulant sur cette voûte, et comme dans un même cercle, quoiqu'il n'y ait que les planètes qui marchent ainsi que nous dans l'espace;

« Que notre soleil et notre lune nous paraîtront toujours d'un tiers plus grands à l'horizon qu'au zénith, quoiqu'ils soient plus près de l'observateur au zénith qu'à l'horizon. »

Puis traçant une courbe analogue à la précédente, il ajoute : « Voici en quelle proportion le soleil et la lune doivent être aperçus dans la courbe A B, et comment les astres doivent paraître plus rapprochés les uns des autres dans la même courbe :

« Telles sont les lois de l'optique, telle est la nature de nos yeux, que le ciel matériel, les nuages, la lune, le soleil qui est si loin de nous, les planètes qui en sont encore plus loin, tous les astres placés à des distances encore plus immenses, comètes, météores, tout doit nous paraître dans cette voûte surbaissée composée de notre atmosphère.

« Pour moins compliquer cette vérité, observons seulement ici le soleil, qui semble parcourir le cercle A B. Il doit nous paraître au zénith plus petit qu'à quinze degrés au-dessous, à trente degrés encore plus gros, et enfin à l'horizon encore davantage; tellement que ses dimensions dans le ciel inférieur décroissent en raison de ses hauteurs dans la progression suivante :

A l'horizon	100
A quinze degrés.	68
A trente degrés.	50
A quarante-cinq degrés.	40

« Ses grandeurs apparentes dans la voûte surbaissée sont comme ses hauteurs apparentes; et il en est de même de la lune et d'une comète. Observons les deux étoiles qui, étant à une prodigieuse distance l'une de l'autre et à des profondeurs très-différentes dans l'immensité de l'espace, sont considérées ici comme placées dans le cercle que le soleil semble parcourir. Nous les voyons distantes l'une de l'autre dans le grand cercle, se rapprochant dans le petit par les mêmes lois. »

Voltaire ne s'est pas donné la peine d'expliquer la cause de cette apparence. Le mathématicien Euler, dans ses « Lettres à une princesse d'Allemagne » (1762), consacre plusieurs chapitres à cette explication. Elle peut se résumer en quelques mots : 1° la lumière des astres qui se trouvent vers l'horizon est beaucoup affaiblie, parce que leurs rayons ont un plus grand chemin à parcourir dans notre basse atmosphère que lorsque les astres se trouvent à une certaine hauteur; 2° étant moins lumineux, nous les jugeons plus loin, car nous jugeons plus proches les objets les plus éclairés; ex. : un incendie, une lumière de nuit, nous pa-



Fig. 55. — Jour lunaire.

raissent plus proches qu'ils ne le sont; tout l'art de la peinture qui représente une perspective sur une toile plate est fondé sur la différence d'intensité des tons; 3° cet éloignement apparent des objets célestes près de l'horizon donne naissance à la voûte imaginaire surbaissée du ciel.

L'arrangement logique de ces deux derniers points paraît inverse de la théorie exposée plus haut. On peut voir cependant que ces deux faits ne dérivent pas successivement l'un de l'autre, mais sont simultanés dans notre observation. La perspective est due à la distance et à l'affaiblissement de la clarté, et elle rend parfaitement compte de la forme apparente offerte par les couches atmosphériques, et des variations de grandeurs suivant l'élévation au-dessus de l'horizon. C'est là un double effet de perspective géométrique et de perspective lumineuse.

Ainsi s'expliquent, par les jeux multiples de la lumière, l'état du jour à la surface de notre planète, l'aspect variable du ciel, et la diversité optique de l'Atmosphère suivant les lieux et les heures.

Nous n'apprécions pas la beauté ni l'importance pratique de la lumière diffuse, parce que nous avons l'habitude de nous en servir sans cesse. Un séjour de quelques heures dans notre voisine la Lune serait suffisant pour nous montrer toute l'extrême distance qui sépare un jour atmosphérique d'un jour sans air.

Comme l'exprimait J. B. Biot dans une image fort juste, l'air est autour de la Terre comme une sorte de voile brillant, qui multiplie et propage la lumière du soleil par une infinité de répercussions. C'est par lui que nous avons le jour lorsque le soleil ne paraît pas encore sur l'horizon. Après le lever de cet astre, il n'y a pas de lieu si retiré, pourvu que l'air puisse s'y introduire, qui n'en reçoive de la lumière, quoique les rayons du soleil n'y arrivent pas directement. Si l'Atmosphère n'existait pas, chaque point de la surface terrestre ne recevrait de lumière que celle qui lui viendrait directement du soleil. Quand on cesserait de regarder cet astre ou les objets éclairés par ses rayons, on se trouverait aussitôt dans les ténèbres : aucune demeure habitable! monde sans villes et sans habitations. Les rayons solaires réfléchis par la terre iraient se perdre dans l'espace, et l'on éprouverait toujours un froid excessif. Le soleil, quoique très-près de l'horizon, brillerait de toute sa lumière; et, immédiatement après son coucher, nous serions plongés dans une obscurité absolue. Le matin, lorsque cet astre reparaîtrait sur l'horizon, le jour succéderait à la nuit avec la même rapidité.

L'effet étrange de l'absence d'Atmosphère serait bien plus complet et bien plus saisissant, s'il nous était donné de nous transporter sur notre satellite. Comparons le riant spectacle que nous offre la Terre, en partie couverte de son manteau humide et ondoyant, sillonnée de fleuves; comparons, dis-je, ce spectacle à l'aspect morne de la Lune, avec son sol de pierre ou de métal déchiré, crevassé et si rudement bouleversé dans ses vastes déserts montagneux; avec ses volcans éteints et ses pics semblables à de gigantesques tombeaux; avec son ciel noir invariable et sans forme, dans lequel règnent jour et nuit des étoiles non scintillantes, le Soleil et la Terre. Là les jours ne sont en quelque sorte que des nuits éclairées par un soleil sans rayons. Point d'aurore le matin, point de crépuscule le soir. Les nuits sont absolument noires. Celles de l'hémisphère lunaire qui nous regarde sont éclairées par un *clair de terre* dont le premier quartier coïncide avec le coucher du soleil, la pleine terre avec minuit et la nouvelle terre avec le lever. Le jour, les rayons solaires viennent se briser, se couper aux arêtes tranchantes, aux pointes aiguës des rochers, ou s'arrêter court aux bords abrupts de ses abîmes, dessinant çà et là de bizarres figures noires aux contours anguleux et tranchés, et ne frappant les surfaces exposées à leur action que pour se réfléchir et se perdre aussitôt dans l'espace, ombres fantastiques dressées au milieu d'un monde sépulcral, éternellement muet et silencieux.

La peinture qui précède a été destinée à nous rappeler les magnificences du *jour terrestre* varié de mille nuances, de mille réflexions, théâtre de l'activité et de la vie. J'ai placé en contraste le *jour lunaire*. C'est un paysage pris dans la Lune au milieu de la région montagneuse d'Aristarque. Il n'y a que du blanc et du noir. Les roches reflètent passivement la lumière du soleil; les cratères restent en partie ensevelis dans l'ombre; des clochers fantastiques demeurent dressés comme d'éternels fantômes sur ce cimetière glacé; l'absence d'Atmosphère laisse l'espace noir du ciel étoilé dominer constamment ce lugubre théâtre, auquel la terre ne pourrait heureusement rien comparer d'analogue.

CHAPITRE II.

LE SOIR.

La lumière, en nous formant par sa puissance et par ses jeux ce magnifique monde atmosphérique au sein duquel nous vivons, donne naissance à des variations qui sans cesse s'opposent à l'uniformité. La blancheur des rayons lumineux cache dans son sein toutes les couleurs et toutes les nuances, et l'Atmosphère non-seulement baigne les paysages terrestres par la *réflexion* multiple de la lumière dans tous les sens, mais encore elle décompose cette lumière par la *réfraction,* et jette sur notre planète l'ondoyante parure d'un ciel toujours changeant, d'une incessante variabilité d'aspects souriants ou sombres.

Lorsqu'un rayon de lumière passe d'un milieu transparent dans un autre, il subit une déviation causée par la différence de densité de ces milieux. En passant de l'air dans l'eau, le rayon se rapproche de la verticale, parce que l'eau est *plus* dense que l'air. Un bâton plongé dans l'eau paraît courbé à la surface du liquide, et la partie plongée semble se rapprocher de la verticale. Il en est de même d'un rayon qui passe d'une couche d'air supérieure dans une couche d'air inférieure, puisque, comme nous l'avons vu, les couches inférieures sont plus denses que les supérieures.

Les rayons de différentes couleurs, dont l'ensemble constitue la lumière blanche, ne sont pas tous également réfrangibles. Il résulte de cette différence qu'en sortant d'un prisme après l'avoir traversé ces rayons se trouvent séparés proportionnellement à leur réfrangibilité, de telle sorte qu'on voit la lumière blanche décomposée en ses éléments constitutifs.

En réfractant la lumière, l'air produit donc deux effets distincts.

D'une part il courbe vers la terre les rayons venus des astres, extérieurs à l'Atmosphère, de telle sorte que nous voyons le Soleil, la Lune, les planètes, les comètes, les étoiles, plus *hauts* qu'ils ne sont en réalité. D'autre part il opère une séparation plus ou moins grande, selon son état de transparence et de densité, entre les divers rayons constitutifs de la lumière.

Le premier effet produit les crépuscules; le second leur donne cette douce et ondoyante beauté qui flotte dans la sérénité des soirs.

La réfraction est d'autant plus forte que le rayon lumineux traverse l'Atmosphère plus obliquement. Les observations astronomi-

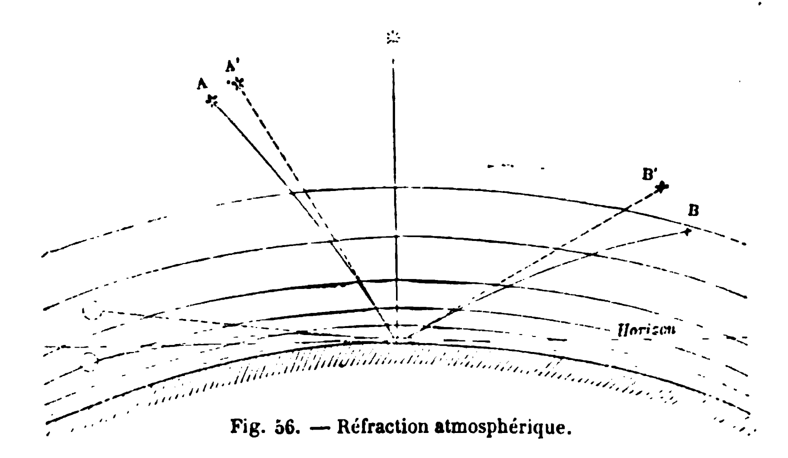


Fig. 56. — Réfraction atmosphérique.

ques seraient toutes fausses, quant aux positions, si l'on ne les corrigeait de cet effet. Ainsi par exemple l'étoile A est vue en A'; l'astre B en B'; il n'y a qu'au zénith que la déviation soit nulle. Pour ces corrections indispensables on a construit des tables de réfractions établies d'après l'hypothèse d'une disposition uniforme des diverses couches d'air superposées. Le pouvoir réfringent de l'air est déterminé dans l'hypothèse où ce fluide ne contiendrait que de l'oxygène et de l'azote : mais nous avons vu qu'il renferme en outre de 4 à 6 dix-millièmes d'acide carbonique et une quantité incessamment variable de vapeur d'eau. Le pouvoir réfringent de la vapeur d'eau diffère assez peu de celui de l'air proprement dit pour qu'on puisse négliger, en général, la correction qui en dépendrait. On n'a besoin de tenir compte que de la température et de la pression barométrique.

Pour montrer de quelles quantités la réfraction relève les objets extérieurs à l'Atmosphère, je choisis dans nos tables quelques nombres dont l'aspect comparé en donnera une idée suffisante. Au

niveau de la mer et à la température moyenne de dix degrés, voici quelle inflexion cette propriété donne aux rayons lumineux. Les réfractions sont naturellement différentes, selon qu'on observe à des hauteurs plus ou moins élevées au-dessus du niveau moyen de la mer; elles diminuent à mesure que l'on s'élève.

TABLE DES RÉFRACTIONS

Distances au zenith.	Réfractions.			Distances au zénith.	Réfractions.		
90°	33′	47″	9	74°	3′	20″	8
89	24	22	3	72	2	57	7
88	18	23	1	70	2	38	9
87	14	28	7	65	2	4	4
86	11	48	8	60	1	40	7
85	9	54	8	55	1	23	1
84	8	30	3	50	1	9	4
83	7	25	6	45	0	58	3
82	6	34	7	40	0	48	9
81	5	53	7	30	0	33	7
80	5	20	0	20	0	21	2
78	4	28	1	10	0	10	3
76	3	50	0	1	0	0	0

On voit qu'un astre situé juste à l'horizon est relevé de plus de 33 minutes d'arc, c'est-à-dire de plus d'un demi-degré ou d'environ $\frac{1}{180}$ de la distance de l'horizon au zénith. Le soleil et la lune n'ont pas 33 minutes de diamètre. Quand ils arrivent, à leur lever, astronomiquement à l'horizon, nous les voyons donc de toute leur épaisseur plus élevés qu'ils ne sont en réalité. Quand ils se lèvent pour notre vue, ils sont encore, en réalité, tout entiers au-dessous de notre horizon. De même, le soleil ne se couche en apparence qu'après l'être en réalité.

Il résulte de ce relèvement que l'on peut voir en même temps le soleil à l'ouest et la lune à l'est au moment de la pleine lune, et même *une éclipse de lune, et le soleil encore sur l'horizon*, quoique le globe terrestre se trouve alors exactement entre les deux astres, et qu'ils soient astronomiquement tous les deux au-dessous de l'horizon. C'est la réfraction qui les relève. On a observé cette curieuse circonstance dans les éclipses de lune du 16 juin 1666 et du 26 mai 1668[1].

1. Tout récemment, le 12 juillet 1870, j'ai pu vérifier le même fait à Paris. La Lune entra dans la pénombre à $7^h\ 45^m$ du soir, et le Soleil ne se coucha que 5 minutes plus tard. Il est juste d'ajouter qu'il fallait être prévenu du fait pour distinguer la présence de l'ombre de l'atmosphère terrestre sur le disque de la lune levant, aussi rouge que celui du soleil couchant.

Par la même deviation des rayons lumineux, le soleil et la lune paraissent aplatis à leur lever et à leur coucher, la réfraction agissant suivant la verticale pour diminuer le diamètre apparent de l'astre dont les rayons traversent les couches atmosphériques.

La durée du jour se trouve donc augmentée par le relèvement du soleil, et celle de la nuit se trouve diminuée en conséquence. C'est ainsi qu'à Paris le plus long jour de l'année est de 16 heures 7 minutes et le jour le plus court de 8 heures 11 minutes, au lieu de 15 heures 58 minutes et 8 heures 2 minutes, durée astronomique. On voit que les jours à Paris sont augmentés de 9 minutes par cette influence, à l'époque des solstices; ils le sont seulement de 7 minutes aux équinoxes. Au pôle boréal, le soleil paraît dans le plan de l'horizon, non pas lorsqu'il arrive à l'équinoxe du printemps, mais lorsque sa déclinaison boréale n'est plus que d'environ 33 minutes; il reste alors visible jusqu'à l'époque où, ayant passé à l'équinoxe d'automne, il a repris une déclinaison australe supérieure à 33 minutes. On a soin de tenir compte de cette action de l'Atmosphère, dans le calcul des heures du lever et du coucher du soleil que l'on insère dans les almanachs.

La longueur du crépuscule est un élément utile à connaître à divers points de vue. Elle dépend de la quantité angulaire dont le soleil est abaissé au-dessous de l'horizon; mais elle est modifiée en outre par plusieurs autres circonstances, dont la principale est le degré de sérénité de l'Atmosphère. Immédiatement après le coucher du soleil, la courbe qui forme la séparation entre la zone atmosphérique directement illuminée et celle qui ne l'est que par réflexion se montre à l'orient quand le ciel est très-pur; on l'appelle *courbe crépusculaire*. Cette courbe monte à mesure que le soleil descend, et quelque temps après le coucher elle traverse d'orient en occident la région zénithale du ciel : cette époque forme la fin du *crépuscule civil*, et c'est le moment où les planètes et quelques étoiles de première grandeur commencent à paraître. La moitié orientale du ciel étant soustraite à l'éclairement solaire, la nuit commence pour toute personne placée dans un appartement dont les fenêtres regardent à l'orient. Plus tard la courbe crépusculaire disparaît elle-même à l'horizon occidental; c'est alors la fin du *crépuscule astronomique*; il est nuit close. On peut estimer que le crépuscule civil finit lorsque le soleil est abaissé de 8° sous l'horizon, et qu'il faut un abaissement de 18° pour produire la fin du crépuscule astronomique.

Les phénomènes crépusculaires sont à peu près inconnus sous les tropiques; là, le jour naît brusquement et l'obscurité succède presque sans transition à la lumière. Cette remarque a été faite par Bruce dans le Sennaar, où cependant l'air est si transparent que souvent on distingue en plein jour la planète Vénus; dans l'intérieur de l'Afrique, la nuit succède presque immédiatement au coucher du soleil. A Cumana, dit A. de Humboldt, le crépuscule dure à peine quelques minutes, quoique pourtant l'At-



Fig. 57. — Déformation du disque solaire par la réfraction.

mosphère soit plus haute sous les tropiques que dans les autres régions.

Voici maintenant les longueurs du crépuscule civil et du crépuscule astronomique en France pour les diverses saisons et pour le 15e jour de chaque mois. En ajoutant cette durée à l'heure du coucher du soleil, on aura l'époque à laquelle finit chacun de ces deux crépuscules; en la retranchant de l'heure du lever, on aura l'époque de leur commencement. La France est comprise, des Pyrénées à Dunkerque, entre le 42e et le 51e degré de latitude. On voit que, même sur cette faible distance, les heures changent sensiblement pour les différents départements de notre pays.

Le plus petit crépuscule civil a lieu vers le 29 septembre et le 15 mars, le plus grand au 21 juin ; le plus court crépuscule astronomique tombe au 7 octobre et au 6 mars, le plus grand au 21 juin. Au delà de 50° de latitude, le crépuscule astronomique dure toute la nuit au solstice d'été.

TABLE DES JOURS LES PLUS LONGS ET LES PLUS COURTS.

LATITUDE.	DURÉE DU JOUR.	
	Le plus long 21 juin.	Le plus court 21 décembre.
Degrés.	H. M.	H. M.
42	15 13	9 00
44	15 28	8 47
46	15 44	8 30
48	16 02	8 14
50	16 24	7 55

TABLE DE LA DURÉE DU CRÉPUSCULE CIVIL.

MOIS.	LATITUDE.				
	42°	44°	46°	48°	50°
	M	M	M	M	M
Janvier	34	35	36	38	40
Février	32	33	34	35	37
Mars	31	32	33	34	35
Avril	32	33	34	36	36
Mai	35	36	38	40	42
Juin	37	39	41	44	46
Juillet	36	38	39	42	44
Août	33	34	36	37	39
Septembre	31	32	33	34	36
Octobre	31	32	33	35	36
Novembre	33	34	35	37	39
Décembre	34	36	37	39	41

TABLE DE LA DURÉE DU CRÉPUSCULE ASTRONOMIQUE.

MOIS.	LATITUDE.				
	42°	44°	46°	48°	50°
	H. M.	H. M.	H. M.	H M.	H. M.
Janvier	1 31	1 33	1 36	1 40	1 45
Février	1 24	1 26	1 29	1 32	1 36
Mars	1 24	1 26	1 2[illegible]	1 33	1 37
Avril	1 33	1 35	1 39	1 44	1 50
Mai	1 46	1 52	2 01	2 11	2 26
Juin	1 56	2 05	2 19	2 36	3 13
Juillet	1 48	1 54	2 04	2 14	2 31
Août	1 32	1 37	1 42	1 47	1 54
Septembre	1 24	1 26	1 30	1 34	1 38
Octobre	1 23	1 25	1 29	1 33	1 36
Novembre	1 30	1 32	1 35	1 39	1 43
Décembre	1 34	1 36	1 40	1 45	1 50

Dans les contrées chaudes, la présence de l'humidité dans l'air n'agit pas seulement pour dònner au ciel pendant le jour la teinte foncée d'azur, ou pour faire développer par les rayons solaires la puissance vitale; elle agit encore pour joindre aux mille merveilles de la nature de l'équateur des effets de lumière d'une beauté incomparable au lever et au coucher de l'astre-roi. Le coucher surtout offre des spectacles d'une magnificence impossible à décrire; il doit la supériorité, qu'à cet égard il

possède sur le lever du soleil, à la présence de l'humidité dans l'air. Elle est plus abondante le soir, après la chaleur de la journée, que le matin, où elle est en partie condensée en rosée par l'effet du refroidissement de la nuit.

Ce n'est pas non plus sur le continent qu'on observe les plus beaux couchers de soleil. Toutefois, sur la terre, le bleu céleste des montagnes lointaines, les teintes roses ou violettes que montrent ensemble et suivant leur distance les collines plus rapprochées, les tons chauds du sol, s'harmonisent d'une manière merveilleuse, quand l'astre vient de disparaître sous l'horizon, avec l'or palpitant de l'occident, avec les nuances rouges ou roses qui le surmontent dans le ciel, l'azur foncé du zénith et la couleur plus sombre encore et souvent verdâtre, par effet de contraste, qui règne à l'orient. Dans les régions équinoxiales, ces teintes douces et fondues, jointes à la variété des formes du terrain, à la richesse de la végétation, donnent des images plus puissantes que celles de nos climats. Parfois des nuages roses et légers, ou des nuées plus épaisses, frangées de rouge de cuivre, produisent des effets particuliers se rapprochant de certains couchers de soleil de nos régions; mais toutes les fois que le ciel est pur, les nuances diffèrent entièrement de celles de la zone tempérée et présentent un caractère spécial. Quelquefois encore les dentelures des montagnes situées sous l'horizon, ou des nuages invisibles interceptant une partie des rayons solaires qui, après le coucher de l'astre, atteignent encore les hautes régions atmosphériques, donnent lieu au curieux phénomène des rayons crépusculaires. On voit alors partir du point où le soleil a disparu une série de rayons, ou plutôt de gloires divergentes s'étendant parfois jusqu'à 90 degrés, et même dans quelques cas se prolongeant jusqu'au point antisolaire. « Sur l'océan, dit M. Liais, quand près de l'équateur le ciel est dégagé de nuages dans la partie visible, et quand les rayons divergents se mêlent aux arcs crépusculaires, les jeux de lumière prennent des proportions et un éclat qui défient toute description et toute représentation sur un tableau. Comment, en effet, dépeindre d'une manière satisfaisante les teintes rouges et roses de l'arc frangé par les rayons crépusculaires bordant le segment encore fortement éclairé de l'occident, segment coloré lui-même d'un jaune d'or éclatant? Comment surtout décrire la teinte d'un bleu inimitable, différent de celui du milieu du jour, et qui occupe la portion céleste comprise entre l'azur ordinaire, mais foncé du zénith, et l'arc crépusculaire?

A toute cette splendeur du ciel occidental il faudrait joindre la description de ses feux réfléchis sur la surface des eaux agitées par le vent alizé, la couleur bleu-noire de la mer à l'orient, l'écume blanche de la vague qui tranche sur ce fond obscur l'arc rose pâle du ciel oriental et le segment sombre et verdâtre de l'horizon. »

Quel spectacle plus sublime qu'un coucher de soleil sur l'Océan ?

Nous avons essayé, dans la peinture reproduite ici, de rappeler ce beau spectacle! Les nuages colorés qui planent dans ce ciel de couchant sont des cirro-cumuli, dont il sera question au chapitre des nuages, et ont été peints par M. Silberman, du collége de France, le 5 juillet 1865.

Les ondoyantes splendeurs qui couronnent l'ensevelissement de l'astre-roi dans la pourpre des soirs sont parfois plus touchantes encore que la scène gigantesque du couchant lui-même.

Dans les campagnes de notre belle France, au milieu des champs ou dans les clairières des bois, lequel d'entre nous n'a pas admiré, certains soirs d'été ou d'automne, le suave spectacle du lent et silencieux coucher du soleil? L'astre éclatant est descendu au delà de la plaine; une brise légère transporte les parfums sauvages; des nuées diaphanes étendent sous les cieux leurs voiles dorées; les derniers oiseaux viennent retrouver leur abri du soir; une ferme au milieu du paysage semble, sous cette lumière tempérée, l'asile de la paix et du bonheur. Quelque simples, quelque familiers que soient pour nous ces tableaux si souvent renouvelés, nous admirons qu'un seul effet de lumière soit capable de développer, comme une baguette magique, les plus splendides, les plus inimitables aspects dans la nature. Mais c'est peut-être dans les montagnes que ces effets sont encore les plus pittoresques.

Nulle description ne saurait rendre la merveilleuse beauté de certains paysages du soir dans les Alpes : C'est un monde de grandeur et de douceur, de sévérité et de tendresse, un singulier mariage du pouvoir majestueux avec la suave délicatesse, un ensemble à la fois formidable et charmant que l'œil surpris contemple fasciné sans pouvoir d'abord le bien comprendre. Nature! ô grande nature! combien est petit le nombre des âmes qui savent entendre tes paroles! Parfois les plus magnifiques spectacles passent inaperçus devant nos yeux aveugles; parfois le moindre trait de lumière frappant nos regards nous met soudain en communication avec la nature et nous fait entrevoir sa beauté à travers les

Hachette & Cie

Eug. Ciceri, pinxt

Eug. Ciceri, Chromolith.

LE COUCHER DU SOLEIL VU SUR LA MER.

(Nuages peints d'après J. Silbermann.)

Imp. Lemercier & Cie Paris.

fluctuations des mouvements terrestres. Le jour de l'équinoxe d'automne de l'année dernière (1868) j'avais étudié les effets du coucher du soleil sur les cimes éclatantes de la Jungfrau, de l'Eiger et du Monch. Derrière la chaîne de l'Abendberg (mont du soir) qui borde au sud le silencieux lac de Thun et dont les sommets



Fig. 58. — Le Soir. — Campagnes de France.

lointains se découpaient sur l'horizon pâle comme de hautes dents noires, l'astre du jour était lentement descendu. Les trois montagnes de neige que je viens de nommer restaient seules éclairées derrière un premier plan sombre et déjà brumeux, et par un effet singulier, l'éclairage oblique de la Jungfrau lui donnait exactement l'aspect d'une montagne de la lune, de ces vastes

cratères blancs circulaires et bordés d'une ombre noire échancrée. Douze minutes après le coucher du soleil pour la plaine d'Interlaken, la dernière pointe de l'Eiger perdit sa blancheur et devint rose; une minute après ce fut le tour du Monch, et deux minutes plus tard celui de la blanche Jungfrau, vierge baignée dans l'azur, qui pendant quelque temps trôna seule dans le ciel, légèrement colorée d'une douce nuance rose pâle. Quelques minutes après, les trois Alpes s'illuminèrent de nouveau et brillèrent comme des montagnes roses; puis, comme par le passage d'un génie malfaisant dans les hauteurs de l'atmosphère, elles parurent mourir tristement et perdirent leurs teintes chaudes et vivantes pour s'envelopper de la sombre et verdâtre pâleur d'un cadavre.

J'avais assisté, dis-je, à ce coucher de soleil, et de mon observatoire improvisé sur une colline de sapins, j'étais redescendu au lac en suivant le sentier qui mène aux ruines d'un antique castel. Un pont de bois jeté sur l'Aar traverse le fleuve rapide et solitaire. La nuit tombait. Les clochettes colossales suspendues au cou des vaches semaient dans le lointain les perles sonores de leur timbre pastoral. Le parfum sauvage des plantes alpestres descendait dans la plaine sur les ailes d'une brise imperceptible. Il semblait qu'un recueillement immense enveloppait la nature entière, et le promeneur isolé dans ces campagnes ne pouvait que songer avec mélancolie à la succession rapide et fatale des jours, des saisons et des années.

Tout à coup au détour d'un sentier bordé de buissons et d'arbustes, ma vue jusque-là masquée par ces haies eut devant elle le panorama tout entier du lac, de la plaine de roseaux, des collines boisées et, dans le fond du paysage, là-bas, à plusieurs lieues de distance, des trois géants blancs debout dans le ciel.

Oui, comme trois géants impassibles, le Moine, l'Aigle et la Vierge étaient là, silencieux, le front baigné danx les hauteurs, tête ceinte de glaces éternelles, regardant autou d'eux la succession des choses éphémères, et dominant tout par leur âge comme par leur taille. A leur droite le mince croissant de la lune flottait comme un filet d'argent fluide et transparent. Les plus belles étoiles s'allumaient dans les cieux.... Quelle peinture, quelle description sauraient reproduire de telles heures pour l'âme qui ne les a point senties? La musique, la suave mélodie de la pensée rêveuse ramènerait seule en notre sein l'impression disparue. Le *Soir* de Gounod peut-être réveillerait-il au fond de l'âme les sons

entendus par l'esprit solitaire en ces moments où les silences de la nature sont si pleins d'éloquence !

C'est un spectacle admiré depuis longtemps que celui de l'illumination des Alpes. L'une de ses manifestations les plus éclatantes est certainement celle qui se produit sur le massif du Mont-Blanc vu de Genève.

Le soleil, depuis le moment du contact de son bord inférieur avec la crête du Jura jusqu'à la disparition totale de son bord supérieur, prend en moyenne 3 minutes 15 secondes pour se coucher à Genève, au moins 3 minutes, au plus 3 minutes et demie. Une fois l'astre disparu, le ciel, à l'ouest, s'il est pur, reste brillant d'une vive lumière blanche, ou seulement légèrement teinté d'une nuance jaunâtre. S'il y a des nuages épars, leurs bords encore éclairés se colorent vivement en jaune d'or, ou en orangé, ou en rouge; mais le ciel lui-même, dans leurs intervalles, ne participe point encore à ces vives couleurs, et reste blanc sans éprouver de changement notable, sauf une diminution dans l'intensité de la lumière.

L'ombre monte rapidement sur le flanc des chaînes, dit Necker de Saussure, dans une excellente description de cet effet crépusculaire; la chaleur des teintes s'évanouit; une nuance sombre, uniforme et terne la remplace, et c'est par ce passage rapide d'un état à un autre aussi différent, que l'on peut apprécier avec certitude, pour chaque lieu, le moment précis où son éclairement doit cesser. Cette extension progressive du domaine de l'ombre est accompagnée d'une augmentation apparente dans l'éclat, la vivacité et la coloration des parties encore éclairées, produite par le contraste. Alors les neiges des montagnes éloignées et éclairées ont une couleur d'un jaune orangé vif, et les rochers de ces montagnes ont une teinte plutôt d'un orangé rougeâtre. Lorsque les contreforts inférieurs des Alpes, au-dessous des neiges éternelles, sont entièrement dans l'ombre, les rochers, et surtout les neiges de la chaîne centrale, prennent un ton de couleur toujours plus intense et plus rouge; sur les neiges, c'est un rouge aurore; sur les rochers, une teinte analogue, mais un peu grisâtre. Pénétrés, comme ils le sont tous, neiges et rochers, par cette même clarté, leur contraste n'est point sec, point trop frappant; mais leurs diverses nuances s'harmonisent ensemble de la manière la plus agréable à l'œil. La partie du ciel sur laquelle se projettent ces montagnes, et qui s'élève de 3 à 4 degrés au-dessus de l'horizon, a déjà une teinte légèrement rougeâtre, et qui, dès lors, va toujours en augmentant d'intensité et de rougeur.

Environ 23 ou 24 minutes après le coucher du soleil, l'ombre a atteint la plus basse cime neigée de la chaîne centrale, le dôme de neige du Buet, élevé de 3075 mètres, et éloigné de Genève de 12 lieues; 3 minutes après, ou 27 minutes après le coucher, elle atteint le sommet de l'Aiguille-Verte à 4080 mètres de hauteur absolue. C'est alors que le Mont-Blanc, qui reste seul éclairé lorsque tout le reste de la surface de la terre est plongé dans l'ombre, paraît briller de la plus vive lumière d'un rouge orangé, et, dans certaines circonstances, d'un rouge de feu comme un charbon ardent. On croit voir alors un corps étranger à la terre. Une minute plus tard, le Dôme-du-Goûter, qui en fait partie, est obscurci; et enfin, environ 29 minutes après que le soleil s'est couché pour la plaine, il se couche pour le sommet du Mont-Blanc, placé à 4815 mètres de hauteur absolue, et éloigné de nous de 15 lieues.

A partir du moment où l'ombre a recouvert les cimes neigées, en commençant par le Buet, un changement frappant s'est opéré dans l'aspect de chacune d'elles, à mesure qu'elle s'obscurcissait. Ces couleurs si brillantes et si chaudes, cet effet si harmonieux d'éclairement et de coloration qui confondait les neiges et les rochers dans une même teinte aurore dont ils ne présentaient que de simples nuances, tout s'est évanoui pour faire place à un aspect que l'on peut nommer vraiment cadavéreux; car rien n'approche plus du contraste entre la vie et la mort sur la figure humaine, que ce passage de la lumière du jour à l'ombre de la nuit sur ces hautes montagnes de neiges. Alors les neiges sont devenues d'un blanc terne et livide, les bandes et les pointes des rochers qui les traversent ou qui en sortent ont pris des teintes grises ou bleuâtres, contrastant durement avec le blanc mat des neiges. Tout effet a cessé, tout relief a disparu; plus de contraste d'ombre et de clair, plus de contours arrondis; la montagne s'est aplatie et paraît comme un mur vertical. Le ton général de la couleur est devenu aussi froid et aussi rude qu'il était chaud et vif auparavant.

C'est ce passage si rapide à deux états si différents qui rend depuis longtemps le coucher du soleil sur l'immense masse neigée du Mont-Blanc un spectacle si intéressant, non-seulement pour les étrangers, mais même pour ceux qui, nés au pied de cette montagne, et qu'une longue habitude paraîtrait avoir dû accoutumer à cette vue, ne se lassent cependant pas de l'admirer. Mais un troisième état de lumière va succéder qui ajoute encore à l'intérêt de cette contemplation.

La partie du ciel voisine de ces monts, et sur laquelle ils se projettent, que nous avons déjà observée avec une teinte rougeâtre, a pris, depuis la décoloration et l'obscurcissement des montagnes, un éclat toujours plus vif et une couleur toujours plus rouge. Si l'on continue à l'observer attentivement, on voit, une ou deux minutes après que la lumière a disparu du haut Mont-Blanc, paraître, dans la partie inférieure de ce ciel rouge, une zone horizontale obscure, bleue, d'abord très-étroite, mais qui augmente rapidement de hauteur et semble chasser en haut les vapeurs rouges dont elle prend la place. Cette bande, c'est l'ombre qui recouvre les régions les plus élevées de l'atmosphère des contrées situées au loin derrière le Mont-Blanc.

Lorsque la zone horizontale bleue a dépassé le sommet du Mont-Blanc, soit lorsqu'il s'est écoulé en moyenne 33 minutes depuis que le soleil s'est couché pour la plaine, alors on voit les neiges se colorer de nouveau, recouvrer en quelque sorte la vie, les montagnes reprendre du relief, un ton chaud, une teinte orangée, quoique bien plus faible qu'avant le coucher du soleil; on voit les contrastes entre les rochers et les neiges disparaître, les premiers prendre une couleur plus chaude et plus jaune, et s'harmoniser de nouveau avec les neiges. Peu à peu, ce même effet se produit sur des montagnes plus rapprochées, et se garde jusqu'à la nuit close.

La réflexion de la lumière sur les molécules atmosphériques, qui constitue la douce et variable clarté répandue dans l'espace aérien, offre à toutes nos heures un théâtre de contemplation sans cesse renouvelé, car elle donne au monde terrestre sa plus éclatante parure et sa beauté la plus profonde. Les planètes dépourvues d'atmosphère ne connaissent point cette richesse. Mais nous passons ordinairement insensibles devant les plus magnifiques spectacles, sans laisser bercer notre pensée dans les ravissements offerts à chaque instant par la contemplation de notre monde.

Au sein des cités populeuses elles-mêmes, parmi les murs vulgaires et les rues droites des villes, il y a parfois de magnifiques effets de lumière, à deux pas des boulevards, là où l'homme n'en chercherait point, tant la nature est féconde et généreuse dans la distribution de ses richesses. J'ai parfois ressenti à Paris les mêmes impressions que dans les Alpes ou dans les nues. Quelquefois, en traversant la Seine, malgré les omnibus vulgaires et les passants affairés, l'œil est attiré par un rayonnement lointain du soleil qui

projette derrière les édifices des lueurs rouges palpitantes. Certains aspects ne peuvent manquer de fixer le regard. Le promeneur qui s'égare sur les bords de la Seine, à l'est de la ville bruyante, sur ces quais solitaires qui avoisinent, par exemple, l'embouchure du canal, voit, au couchant, devant lui, sortant des flots, la haute, imposante et sombre silhouette de Notre-Dame, dont les tours carrées dominent royalement l'espace et dont la flèche perce le ciel. Il voit, plus au sud, exaltée des mille toits de la montagne Sainte-Geneviève, la coupole du Panthéon portée sur sa colonnade, élevant dans l'air son dôme païen qui rappelle Rome polythéiste. Le fleuve lent roule ses flots vers la basilique chrétienne, qu'il enserre dans son île, et, d'heure en heure, lentement transporte ses eaux, toujours renouvelées, vers le couchant, vers la mer où tout s'engloutit. Il est difficile de contempler ce panorama de Paris dans la lumière du soir, sans remarquer quelle grâce et quelle douceur répand sur toutes choses la clarté atmosphérique, dont le fluide éthéré baigne, en les caressant, les contours des vieux édifices. Il n'y a cependant, dans ce simple panorama, que deux grands objets frappants : l'église du moyen âge avec ses souvenirs historiques ; le monument de la patrie avec son symbole non encore réalisé ; mais ce revêtement général de la lumière atmosphérique, ces flots vaguement suivis par l'œil et la pensée jusqu'au Louvre, le silence de ces régions, et même le bruit monotone d'une écluse, tout cet ensemble donne, à Paris même, pour ceux qui savent le voir, un spectacle émouvant de la nature, fécond en pensées sur la durée des édifices humains en contraste avec l'éphémère durée de notre vie qui, semblable à ces molécules d'eau du fleuve, ne fait que descendre incessamment vers la mort.

Le soleil couchant est presque toujours accompagné de ces nuages que nous distinguerons plus loin sous le nom de *cumulo-cirri*, et qui nous donnent à Paris, sur le pont des Arts et vers l'occident, ces aspects du ciel célèbres par leur beauté. A cause de la courbure de la terre, les nuages de la mer que nous apercevons de Paris sont élevés de 3 kilomètres au-dessus de l'Océan, et sont formés de glace et de neige, même au mois de juillet ; ce sont les plus élevés de ces nuages, ou ceux que le vent apporte vers nous, qui produisent ces figures si variées de montagnes, de poissons, d'animaux et d'êtres fantastiques que l'on contemple agréablement le soir sur un fond éclatant et enrichi de toutes les teintes que donne la diffraction de la lumière.

Aux méditations précédentes nous pouvons ajouter une remarque

générale, singulièrement curieuse, relativement à l'influence de la lumière du soir sur la construction des cités. Les villes marchent vers l'ouest. Paris, dont l'île de la Cité est le berceau, a, dans ses agrandissements successifs, manifesté constamment une tendance dominante vers l'ouest. Il y a 2000 ans, Paris était sur le versant nord-est de la montagne Sainte-Geneviève, où l'on vient de découvrir les arènes. Sous les Mérovingiens il descend, commence sa marche vers l'occident : c'est la Cité ; son méridien est la longue et unique rue sud-nord qui s'appelle Saint-Jacques au sud et Saint-Martin au nord. Plus tard s'élèvent le Palais de Justice et la Sainte-Chapelle. Suivons les siècles. Le Louvre et la Tour de Nesle ont vu se briser la chaîne de fer qui fermait la capitale en ce point du fleuve, et les Champs-Élysées, de la Madeleine aux Invalides, ont d'abord développé leurs promenades primitives. Puis s'est formé le quartier de l'Étoile et Passy. Aujourd'hui nous avons le bois de Boulogne, et l'élégant Paris s'allonge jusqu'à Saint-Cloud. La classe riche a une tendance prononcée à se porter vers le coucher du soleil, abandonnant le côté opposé aux diverses industries et à la classe fatiguée. Cette remarque s'applique non-seulement à Paris, mais à la plupart des grandes cités : Londres, Vienne, Berlin, Saint-Pétersbourg, Turin, Liége, Toulouse, Montpellier, Caen, etc., et jusqu'à Pompéi.

D'où vient cette tendance? — Un fait si général n'est pas dû au hasard. Est-ce le cours de la Seine qui a entraîné Paris à l'ouest? Non. La Tamise court en sens contraire et Londres s'est agrandi vers l'ouest comme Paris. Il y a douze ans, le docteur Junod (Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1858) a proposé d'expliquer le fait en disant que le vent d'est est celui qui élève le plus la colonne barométrique, que le vent d'ouest l'abaisse le plus et offre l'inconvénient d'entraîner avec lui sur les quartiers situés à l'est des villes les gaz délétères, de sorte que la partie orientale d'une grande ville supporte non-seulement sa propre fumée et ses miasmes, mais encore ceux de la partie occidentale. On peut admettre en effet que l'on se porte de préférence vers l'air pur, et du côté d'où le vent souffle le plus fréquemment.

Mais le vent n'est pas le même dans tous les pays. Pour moi, je suis plus particulièrement disposé à voir dans ce fait un témoignage de l'attraction de la lumière. Et la réflexion est d'une extrême simplicité. Il est permis de remarquer que les citoyens aisés vont se promener le soir, et non pas le matin. Où nous dirigeons-nous le soir, en quelque lieu que nous soyons? Toujours

vers les beaux spectacles du ciel du couchant. Cette direction générale amène à créer des promenades, des maisons de campagne, des habitations de plaisance, et petit à petit s'étend dans ce sens la population aisée des grandes villes.

La nature exerce constamment sur nous une influence muette mais irrésistible. La composition chimique de l'air, son état physique, sa transparence optique, ses variations de lumière et d'ombre, le vent, les nuages, la périodicité des matins et des soirs, des jours et des nuits, des saisons, des années changeantes et renouvelées, tout ce qui nous entoure, ce qui nous soutient, ce qui nous nourrit, la terre, l'eau, la plante, le sol, la densité des substances qui constituent et la planète et nos propres corps, la pesanteur, la chaleur, les forces diverses qui meuvent le monde, en un mot tous les agents de la nature, agissent sur nous incessamment et à notre insu. Ce sont eux qui ont composé l'organisation de la vie sur la Terre; ce sont eux qui l'entretiennent. Nous sommes menés, troupeaux parasites disséminés à la surface de cette planète, nous sommes menés dans les champs du Ciel par une main souveraine que nous ne voyons pas, par une destinée que nous ignorons. Tous ici nous nous agitons, nous courons au plus vite, nous combattons les combats de la vie, nous nous remuons sans cesse comme les fourmis dans les champs et les rues de leur fourmilière, et toutes les espèces animales travaillent comme l'espèce humaine, et les plantes aussi naissent, grandissent, fleurissent, fructifient et meurent, et les objets inanimés marchent aussi, le vent circule, la vapeur d'eau s'élève au nuage, la pluie tombe, le fleuve descend à la mer, et la Terre elle-même court avec une rapidité inimaginable.... vers quoi? pourquoi? Qu'est-ce que cette agitation universelle et infatigable? — Nous ignorons le but et la fin de cette incompréhensible création. Mais ce que nous savons, c'est que ce mouvement perpétuel constitue la vie et la grandeur de la nature. Il faut nous résigner à ne voir que l'actualité. Étudions-la : c'est le plus grand charme de la vie; en étudiant cette nature dont nous sommes fils, nous apprenons à nous connaître positivement nous-mêmes.

CHAPITRE III.

LA NUIT.

La paix profonde descend des cieux, et dans le lointain s'évanouissent les derniers bruits du jour. La nature se tait dans un attentif recueillement. Les avenues sombres du bois ne sont plus éclairées que par une vague clarté répandue dans l'atmosphère du crépuscule. Le rossignol chante au ciel sa tendre et infatigable chanson d'amour, qui résonne dans les solitudes et s'envole en perles limpides. Un souffle parfumé caresse les collines, et la transparence du ciel ne laisse encore briller dans sa pénombre que Vénus au couchant et Jupiter sur nos têtes. C'est l'heure, charmante entre toutes, où les forces mystérieuses de la nature semblent s'endormir en invitant aux expansions intimes le jeune cœur gonflé d'une séve ardente, en qui s'éveille l'aspiration vers le beau, vers le grand, vers l'idéal. Le monde paraît un instant transformé. Plus de bruit, plus d'agitation, plus de travail guerroyant et tempétueux entre les êtres. L'océan devient lac, et les paysages développent dans une tranquille douceur le sentier des promenades solitaires. O nuit pensive et silencieuse, dont les vastes ailes apportent sur leur passage la rêverie ondoyante et l'oubli des préoccupations matérielles, quelle reconnaissance ne vous doivent pas les âmes que vous avez bercées dans les ravissements du ciel! Combien de tendresses profondes et sacrées se sont communiquées et fondues ensemble sous la discrète influence de vos ombres protectrices! Et aussi combien de peines et de douleurs le sommeil n'est-il pas venu suspendre en les assoupissant? Combien de fatigues n'a-t-il pas fait évanouir, combien de désespoirs n'a-t-il pas su remplacer par les bien-

faits du repos et par les promesses inattendues de la joyeuse espérance?

J'aime avec passion la Nuit sublime, qui possède la singulière puissance de substituer ainsi le monde de la pensée intime au monde de la lourde matière, et d'ouvrir le panorama des cieux au regard contemplateur ambitieux de connaître les autres mondes, invisibles pendant la lumière des jours. Mais la réflexion qui me frappe le plus fortement ici, c'est de songer que pour produire cette étonnante transformation sur la terre, la nature n'a qu'à élever l'horizon au-dessus du lieu du soleil, et que par cette seule inflexion de la sphère le monde moral subit une métamorphose non moins complète que celle du monde physique. Ce qui me frappe d'étonnement, c'est surtout de voir que pen-



dant la nuit silencieuse amenée par la rotation du globe, les forces incessantes de l'univers continuent d'agir, d'emporter notre globe dans le vide du désert éternel, — de le mener avec l'énergie de la sévère puissance attractive à travers les multiples mouvements dont il est le jouet, — de lui faire parcourir 27 500 lieues par heure.... tandis que nous dormons ou rêvons dans le bercement maternel de la nuit si douce et si tranquille.

Quel contraste! quelle merveilleuse opposition, entre l'exquise sérénité d'une nuit limpide, et la force colossale qui, tout en produisant cet effet, emporte la Terre dans l'espace aveugle avec une vitesse vertigineuse!

Pendant une nuit de huit heures notre planète a traversé dans l'immensité une étendue de 220 000 lieues! Chaque point de sa surface, emporté d'ailleurs de l'ouest à l'est par la rotation diurne, a parcouru le tiers de la circonférence de sa latitude. Or pendant cette durée, le contemplateur a pu suivre lentement le

mouvement apparent insensible de la sphère étoilée sur sa tête, et étudier le ciel extérieur, grâce à la transparence de l'Atmosphère.

La voûte étoilée de la nuit n'existe pas plus que la voûte bleue du jour. Elles sont causées l'une et l'autre par une même propriété de l'air, agissant en sens contraire. L'enveloppe atmosphérique est, en effet, assez *transparente*, pour que les étoiles lointaines soient visibles au travers; et elle ne l'est pas absolument, car dans ce cas le ciel serait noir, incolore, au lieu d'offrir ce voile aérien azuré et fluidique qui est formé par la réflexion de la lumière sur les molécules aériennes non absolument transparentes.

Au sein de l'univers étoilé, notre œil rapporte vaguement à une voûte fictive dont il est le centre tous les points lumineux disséminés dans l'espace ; la sphère céleste au milieu de laquelle on suppose la Terre est née à la fois de la propension où nous sommes de rapporter tous ces points extérieurs à une même surface courbe, à une même distance, et de la nécessité où l'on s'est vu de tracer les constellations et de les nommer pour les reconnaître. Mais en réalité les étoiles — qui sont autant de soleils — sont à des distances très-diverses au delà de la prétendue voûte étoilée. On peut en sentir un exemple en observant que le ciel couvert des nuages qui donnent la pluie n'est pas à plus de 1500 mètres de hauteur (souvent moins), et que de ces nuages à la Lune il y a 256 000 fois cette étape; et en remarquant encore que la Lune, située à 96 000 lieues d'ici, n'est qu'à la *millionième* partie de la distance qui nous sépare de l'étoile la plus rapprochée (α du Centaure), et que les étoiles qui nous semblent voisines sont situées les unes derrière les autres à des éloignements tels que de l'une à l'autre chaque distance encore est plus grande que celle que je viens de nommer!

Les philosophes de l'antiquité avaient admis la réalité de la voûte céleste; pour un grand nombre les étoiles n'étaient que des clous d'or, et les aérolithes des pierres détachées du firmament. En brisant le cristal des cieux, Copernic et Galilée ont développé l'univers à sa véritable valeur.

Nous verrons plus loin quel caractère joue la nuit au point de vue météorologique, en laissant perdre dans l'espace une partie de la chaleur acquise pendant le jour. Bientôt même nous aurons lieu de nous entretenir de certains phénomènes propres à la nuit, tels que les bolides, les étoiles filantes, la lumière zodia-

cale. Dans ce chapitre, qui ne considère la nuit qu'au point de vue de la succession causée dans la distribution de la lumière par la rotation du globe, nous pouvons, après les étoiles, nous souvenir de la présence de la lune et du charme de sa lumière nocturne.

Aussi bien au point de vue de la science qu'à celui de l'art, la clarté répandue par la lune sur notre atmosphère mériterait une étude spéciale à cause de la variété qu'elle présente selon les climats.

C'est aux régions polaires qu'il faudrait nous transporter pour avoir une vue complète d'une longue nuit glacée, illuminée de la pâle clarté lunaire. Là, pendant cette nuit hibernale d'une demi-année, la lune se lève une fois par mois, et elle reste quinze jours au-dessus de l'horizon. La phase du lever est celle du premier quartier. Après son apparition, l'astre s'élève peu à peu en décrivant, pendant la moitié de la durée de sa présence, sept tours et demi autour de l'horizon. En même temps la phase augmente. Au bout de cet intervalle, arrive enfin la pleine lune, et le globe lunaire possède sa hauteur maximum, laquelle ne dépasse jamais 29°. Il redescend alors en faisant encore une fois sept tours et demi de sphère autour de l'horizon, et au dernier quartier la lune se couche et disparaît pour quinze jours. Ce long séjour de la lune sur l'horizon des pôles s'explique par l'inclinaison de la Terre sur le plan de son orbite, dont nous nous occuperons bientôt à propos des saisons et de la variation des jours et des nuits.

En venant vers nos latitudes tempérées, on voit la lune se lever et se coucher tous les jours. En même temps elle atteint des hauteurs de plus en plus grandes au-dessus de l'horizon.

La longue illumination des nuits polaires offre pour nous un caractère fantastique et bizarre. Les pâles reflets de la lune, dit M. Liais, s'y répandent sur l'épaisse couche de neige qui couvre et dissimule le sol, et les flancs parfois abrupts de masses gigantesques de glace varient seules l'uniformité de ce spectacle avec leurs stalactites aux formes bizarres, tantôt délicates et simulant les dentelles de nos monuments gothiques, tantôt reproduisant leurs aunes de colonnades. De beaux effets de lumière attirent toutefois le regard au milieu de cette nature morte et désolée. Fréquemment de petits cristaux de glace flottant dans l'atmosphère donnent lieu à de grands cercles blancs entourant la lune, et à l'immense variété des arcs, des halos et parasélènes, dont nous parlerons plus loin. Souvent même la faible lueur de l'astre ne

peut arriver à éteindre les brillants reflets de l'aurore boréale dont les rayons et les arcs alors affaiblis se joignent aux cercles blancs ou colorés produits par la lumière de la lune traversant les cristaux atmosphériques. Ailleurs, sur le sol, des aiguilles de glace situées dans l'ombre réfléchissent comme une lueur pâle et phosphorescente les neiges éclairées, ou bien les stalactites de cristal exposées à l'action directe des rayons lunaires en multiplient l'image. Si, dans nos climats, nous n'avons point ces spectacles, par compensation, notre été nous donne des nuits chaudes et agréables où la présence de la lune éclairant des campagnes couvertes de vie, où les rayons de cet astre se jouant dans le feuillage des arbres répandent sur une nature fraîche et animée une sorte de douce mélancolie invitant à la pensée et à la méditation.

Nos clairs de lune, dans nos régions tempérées, offrent un charme tout particulier; comme le disait Ossian, ils sont le divin accompagnement des nuits solitaires, voilées par les nuages légers que transporte la brise, animées par les notes mélancoliques du « sweet nightingale, » le doux chantre de minuit.



En Europe, comme dans toutes les zones tempérées, la lune, à l'époque de son plein, atteint une hauteur au-dessus de l'horizon beaucoup plus grande en hiver qu'en été. Cela vient de ce que la route qu'elle décrit est à peu près la même que celle du soleil. Or, quand notre satellite nous montre sa face éclairée, il est

précisément à l'opposé du soleil, c'est-à-dire dans la partie du zodiaque où ce dernier était situé six mois plus tôt. Ainsi, en été, la pleine lune est dans la région du ciel occupée en hiver par le soleil, région qui pour nos pays apparaît très-près de l'horizon sud. En hiver, au contraire, la pleine lune a lieu dans la portion du zodiaque où le soleil brille en été.

Chaque année d'ailleurs la hauteur de la lune varie. Ainsi, pendant ces années-ci, la lune monte plus haut qu'il y a une dizaine d'années, de dix fois environ son épaisseur. Elle commence à diminuer de hauteur et en 1876 elle sera à son minimum. L'oscillation dure 19 ans.

On peut dire en général que, dans nos climats, l'éclairage lunaire le moins intense est précisément celui de la saison où nos arbres sont en feuilles. Aussi nos clairs de lune d'été, les seuls qui pourraient être comparés à ceux des tropiques à cause du charme spécial répandu par la blanche clarté de notre satellite sur une nature à végétation active, sont cependant très-inférieurs à ceux de la zone torride où la lune arrive jusqu'à lancer du zénith même des rayons condensés sur des paysages de verdure. La transparence de l'atmosphère tropicale, dit encore l'astronome cité plus haut, favorise l'intensité de l'éclairage, et, sous une lumière plus que triple de celle qui existe en été dans nos climats, les formes majestueuses des grandes monocotylédonées se dessinent au milieu de la masse générale des feuillages avec un caractère de beauté indescriptible.

On évalue la clarté lunaire à la trois cent millième partie de celle du Soleil. Les dernières mesures de sa chaleur font supposer qu'elle ne peut produire à la surface de la terre qu'une élévation de température de 12 millionièmes de degré.

L'un des spectacles les plus curieux des nuits estivales, et qui présente comme une contre-partie du tableau de la voûte céleste, c'est celui de la phosphorescence de la mer.

Dès que le soleil a disparu de l'horizon, des essaims innombrables d'animalcules lumineux sont attirés à la surface du liquide par certaines circonstances météorologiques. Une nouvelle clarté surgit du sein des flots. On dirait que l'océan essaye de rendre pendant la nuit les torrents de lumière qu'il a reçus pendant le jour. Cette lumière étrange naît çà et là par une foule de points qui tout à coup s'allument et scintillent.

Quand la mer est calme, on croit voir à sa surface des millions de vives étincelles qui flottent et se balancent, et, au milieu

d'elles, de capricieux feux follets qui se poursuivent et se croisent. Ces soudaines apparitions se réunissent, se séparent, se rejoignent, et finissent par former une vaste nappe de phosphorescence bleuâtre ou blanchâtre, pâle et vacillante, au sein de laquelle se font distinguer encore d'espace en espace de petits soleils éblouissants qui conservent leur éclat.

Quand la mer est très-agitée, les flots semblent s'embraser. Ils s'élèvent, roulent, bouillonnent, et se brisent en flocons d'écume qui brillent et disparaissent comme les bluettes d'un immense foyer. En déferlant sur les rochers du rivage, les vagues les ceignent d'une bordure lumineuse : le moindre écueil a son cercle de feu. Chaque coup de rame fait jaillir de l'océan des jets de lumière : ici faibles, peu mobiles et presque contigus; là resplendissants, vagabonds et dispersés comme un semis de perles chatoyantes. Les roues des bateaux à vapeur agitent, soulèvent et précipitent des gerbes enflammées. Quand un vaisseau fend les ondes, il pousse devant lui deux vagues de phosphore liquide; il trace en même temps, derrière sa poupe, un long sillon de feu qui s'efface avec lenteur, comme la queue d'une comète !

Une nuit d'août 1865, naviguant sur les côtes de la Manche, j'étais suivi par un long sillage lumineux marquant la route de notre petit bateau à vapeur et nous enveloppant parfois d'un véritable feu d'artifice.

On avait imaginé plusieurs explications à ce brillant et curieux phénomène. On sait maintenant qu'il est dû à la présence dans les eaux d'animalcules microscopiques en nombre incalculable, qui produisent aussi de jour l'aspect de la *mer de lait* et font paraître l'Océan comme une plaine de neige ou de craie.

Celui des infusoires pélagiens qui contribue le plus à la phosphorescence de la mer, paraît être la « noctiluque miliaire. » Cet animalcule a été rapproché par les naturalistes tantôt des anémones, et tantôt des méduses et des foraminifères. Il est si petit que dans 30 centimètres cubes d'eau, il peut en exister 25 000 !...

La noctiluque paraît, au premier abord, comme un globule de gelée transparente. Elle offre çà et là, dans son intérieur, des granules, probablement des germes et des points lumineux. Ceux-ci paraissent et disparaissent avec rapidité, la moindre agitation détermine leur éclat. Ces points forment tout au plus la vingt-cinquième ou la trentième partie du grand diamètre du globule. Les

ie petites con-

ie la phos-
déterminé par
néréides, des
engendrent la
multiplient

comme
entre eux en
circons-
intense et
des pe-
qui les

phéno-
Poussiel-



Fig. 61. — Phosphorescence de la mer.

pile de Volta. Mais ce n'est rien encore : à une certaine profondeur se forment des rosaces, des étoiles, des chaînes, des rubans de flamme d'une merveilleuse régularité, qui ondulent avec les vagues, imitant, dans ce feu d'artifice de la mer, les guirlandes de verre qu'on suspend aux mâts pavoisés de nos fêtes nationales ! »

Ayant fait pêcher quelques-uns de ces mollusques phosphorescents, l'auteur constata que chaque extrémité de ces tubes vivants portait des ventouses leur servant à s'attacher à leurs congénères ; ainsi réunis, ils formaient des agglomérations qui comptaient plusieurs milliers d'individus, et qui prenaient, en s'agrégeant, des figures géométriques parfaites.

La phosphorescence n'est pas rare sur nos côtes de France, quoique moins fréquente que dans les régions tropicales. Elle se manifeste surtout pendant les saisons chaudes et dans les journées orageuses. Ordinairement même elle précède l'orage et pourrait sans contredit servir de signe précurseur au changement de temps.

Pendant le mois de septembre 1869, M. Decharme, d'Angers, observant ce phénomène plus ou moins intense, sur les côtes de Bretagne, recueillit de l'eau phosphorescente. A l'état de repos, elle perdait assez vite son éclat; mais le flacon agité devenait aussitôt lumineux. De jour les animalcules étaient visibles avec un petit microscope grossissant 40 fois en diamètre, et ressemblaient à de petites lentilles diaphanes, de 2 à 4 millimètres. Un soir d'orage, le flacon devint spontanément phosphorescent.

La cause de la phosphorescence de la mer est permanente, et le phénomène ne varie que dans son intensité. En effet, si l'on prend de l'eau de mer un jour quelconque où elle ne paraît pas phosphorescente à la plage, on trouve qu'il y a en tout temps (du moins dans la saison chaude, saison des orages) un nombre plus ou moins grand d'animalcules phosphorescents, nombre variable selon l'état de l'Atmosphère. Pour constater leur existence, il suffit, quand ils ne sont pas spontanément lumineux par légère agitation, ce qui est rare, de les éveiller en versant quelques gouttes d'un liquide excitant, d'alcool par exemple, ou d'un acide. Alors, en agitant le vase, on aperçoit des points phosphorescents.

L'examen attentif de l'eau de la mer, sous le rapport de la phosphorescence, pourrait sans doute fournir des données utiles à la météorologie des orages. Il serait d'ailleurs facile aux marins et aux habitants des côtes de faire, à ce sujet, des observations variées; on en tirerait bientôt les conséquences et les indications que comporte ce curieux phénomène.

CHAPITRE IV.

LE MATIN.

Attirée par l'effluve féconde de la lumière solaire, la Terre tourne dans le rayonnement lumineux, présentant son front au Soleil, et se donnant un matin perpétuel par la succession régulière de ses méridiens sous l'astre-roi. Pour chaque région du globe le matin arrive, en relation avec le cours diurne apparent du ciel; pour l'ensemble du globe, le Soleil se lève constamment, distribuant sans arrêt depuis le commencement de ce monde l'heure joyeuse de son lever à la circonférence sans cesse renaissante de notre mobile planète.

Il y a des mondes qui n'ont jamais de lever de soleil, jamais de matins, jamais de soirs, jamais de nuits : ce sont les mondes à la surface desquels règne constamment une lumière soit diffuse et douce, soit éblouissante, et qui puisent dans leur propre atmosphère cette permanente clarté. Il en est d'autres sur lesquels apparaissent et disparaissent des soleils de couleur, substituant les flammes de l'écarlate, du rubis ou de l'émeraude à la blanche lumière caractéristique de notre soleil. Ces mondes éclairés par plusieurs soleils de couleurs différentes ne sont pas rares dans l'espace. Il en est d'autres encore pour lesquels le retour quotidien de la lumière et de la chaleur n'est pas régulier comme ici-bas, mais soumis à des fluctuations qui tantôt donnent des matins enflammés par des torrents de lumière, et tantôt laissent la nuit empiéter sur le domaine du jour.

Ainsi, ce que nous voyons sur la Terre n'est pas l'image de similitudes absolues pour les autres mondes. Nous ne saurions

trop apprécier le système organique dont la nature a gratifié notre planète. Quel spectacle plus digne d'attention que celui du retour quotidien de la lumière dans l'Atmosphère de notre monde obscur, surtout lorsqu'en songeant à ce retour on en voit sous un même coup d'œil toutes les conséquences sur le renouvellement incessant de la vie!

C'est une heure de paix et en même temps d'activité que celle du réveil de la nature à l'aurore. Tous les êtres, se levant d'un repos régénérateur, reprennent le cycle interrompu de leur destinée terrestre, et comme le printemps dans l'année, le matin est dans le jour l'instant du renouvellement. Les oiseaux chantent à l'astre radieux leur cantique matinal, de leur voix aussi pure



dans l'ordre du son que l'aurore dans l'ordre de la lumière. Autour des habitations champêtres, nos animaux domestiques cherchent instinctivement la liberté dans la lumière, l'activité, l'agitation, sortant avec bonheur de l'inactive léthargie. Notre espèce humaine toutefois, par une malencontreuse exception, s'est accoutumée, dans ses grandes cités, à faire la nuit du jour, et le jour de la nuit. Minuit n'est plus le milieu du sommeil, et la « matinée » commence, à Paris, peu avant midi pour s'étendre jusqu'au coucher du soleil. C'est là une singulière transformation, que les astronomes seuls pourraient justifier, mais qui forme maintenant la règle générale des villes humaines, et, sans aucun doute, exerce une funeste influence sur la santé et sur la force organique générale.

Comme nous l'avons vu, la réfraction atmosphérique fait naître le jour avant le lever du soleil, et le prolonge après son coucher.

Dans mes voyages scientifiques en ballon, j'ai pu faire quelques expériences spéciales sur la lumière de l'aurore.

A l'époque du solstice d'été, quand l'Atmosphère est sereine et la lune absente, une élévation de 200 mètres, à minuit, hors de la brume inférieure, est suffisante pour observer au nord, nettement dessinée, la clarté du crépuscule.

Lorsque la lune brille dans sa plénitude, il est facile de suivre la comparaison de sa lumière avec celle de l'aurore. C'est ce que j'ai fait entre autres pendant la nuit du 18 au 19 juin 1867. Comparant simultanément la lumière de la lune, qui venait de passer au méridien, avec celle de l'aurore et suivant l'accroissement



Fig. 63. — La matinée.

de celle-ci, j'ai reconnu que les deux clartés se sont égalées à $2^h\ 45^m$ du matin, 1 heure 13 minutes avant le lever du soleil. A partir de cet instant la lumière de l'aurore alla en augmentant sur celle de notre satellite.

Ce qui me surprit le plus dans cette expérience, ce fut de reconnaître que la blancheur légendaire de la lumière de la lune n'est blanche que par comparaison avec nos lumières artificielles. Elle rougit devant celle de l'aurore comme celle du gaz devant elle.

Une différence remarquable distingue également la lumière de l'aurore de celle de la pâle Phœbe. Lors même qu'elle n'a pas encore atteint l'intensité de la seconde, la première *pénètre* les objets de la nature, tandis que celle de la lune *glisse* à leur surface et les estompe vaguement.

Même par le ciel le plus pur, les régions qui avoisinent la terre paraissent, d'en haut, toujours voilées et troublées par des vapeurs. C'est en ces hauteurs qu'il serait utile d'édifier des observatoires.

Quel spectacle plus sublime que celui du lever du soleil, observé soit des hauteurs de l'Atmosphère, soit du faîte des montagnes? Au désert, l'astre éclatant apparaît comme un roi sortant de la pourpre glorieuse; les rayons de son diadème s'élancent à travers les nuées supérieures, et l'Arabe salue Hêliôs, Allah! trois fois saint, comme autrefois l'habitant des îles parfumées du Péloponnèse saluait Phœbus-Apollon. Sur la mer, son premier rayon d'or flamboie tout d'un coup, puis le disque lumineux monte solennellement au-dessus des flots. Quelle que soit la situation d'où l'on contemple ce spectacle, il est difficile de ne pas le trouver grandiose et majestueux.

Des divers tableaux de la nature qu'il m'a été donné d'admirer, celui dont le souvenir me frappe le plus encore, c'est un rare lever de soleil auquel j'ai assisté en ballon, par une belle matinée d'été, à 2400 mètres de hauteur au-dessus du Rhin.

Les nuages venaient de se former, de deux heures à trois heures du matin, dans des régions aériennes inférieures à la nôtre, et parsemaient la vaste campagne. Les immenses forêts de l'Allemagne se développaient à plus de 2 kilomètres au-dessous de nous; nous distinguions presque à notre nadir Aix-la-Chapelle; à notre gauche, au loin, les terrains marécageux de la Hollande; à notre droite, le duché de Luxembourg; derrière nous, les propriétés entourées de haies de la Belgique; devant nous, près du soleil, la Westphalie; au loin, le Rhin qui déroulait ses anneaux blancs et serpentiformes. Cologne approchait avec sa noire cathédrale au centre du demi-cercle. Depuis longtemps, l'aurore répandait sur la terre une clarté toujours croissante, et, par un singulier effet de mirage ou par la disposition fortuite des ombres dans les nuées situées à notre hauteur, un vaste paysage se dessinait à l'orient avec des teintes et des nuances vagues semblables à celles du marbre.

On pressentait, derrière ces décors féeriques, ces murailles, ces tours et ces clochers projetés sur cette couche lointaine de nuées, on pressentait l'arrivée prochaine du dieu de la lumière, qui, par sa majesté, allait faire soudain disparaître toutes les ombres du crépuscule. Un silence absolu environnait notre navire, tandis que les nuages se formaient et se déformaient au-dessous de nous.

En vérité, je ne saurais mieux comparer l'accroissement succes-

sif de la lumière orientale et les symptômes précurseurs du lever de l'astre-roi, qu'à une mélodie extrêmement pure qui se laisserait d'abord deviner plutôt qu'entendre, comme venant d'une grande distance. Puis ce murmure, ce prélude, s'accentue davantage, et déjà l'on distingue les accords des diverses parties. L'oreille charmée par l'enivrante harmonie, comme l'œil baigné dans la lumière céleste, cherche à discerner dans l'ensemble le motif qui se dégage de l'accompagnement sonore. Mais à travers les frémissements des cordes basses, sous les chatoiements et les broderies de l'art musical, la pensée ne sait parvenir à distinguer la trame du mélodieux concert. A peine l'attention a-t-elle pénétré dans ce monde merveilleux de l'harmonie, que tout à coup éclate dans sa grandeur la puissante et éblouissante fanfare.... Le dieu de la lumière flamboie! L'Atmosphère est soudain pénétrée dans ses régions immenses par les feux de son rayonnement intarissable.

Ces spectacles aériens sont rares. Plus fréquente est l'observation du lever du soleil sur les montagnes.

A mon avis, les plus beaux couchers de soleil sont ceux de la mer, et les plus beaux levers ceux des montagnes ou des ascensions aériennes.

Tous les touristes qui chaque année parcourent les Alpes de la Suisse sont montés une fois au moins au sommet du Righi, cette petite montagne de 1800 mètres qui s'élève, isolée, au milieu des lacs et donne au naturaliste la succession de tous les climats jusqu'aux dernières espèces végétales. Pour permettre à ceux qui ne l'ont pas ressentie de se rendre compte de l'impression d'un lever de soleil dans les Alpes, j'extrais ici de mes notes de voyage l'observation que j'en ai faite moi-même au mois de septembre 1868. C'est une description simple, qui peut donner une idée de la nature de ce beau spectacle.

.... J'ai assisté ce matin au lever du soleil, du haut de cette belle montagne qui domine par son heureuse situation le panorama de la Suisse. C'est inouï. On ne peut se former une idée de cette illumination des glaciers dans le ciel avant l'arrivée visible du Soleil sur la montagne, lorsqu'on ne l'a pas contemplée soi-même. Hier, vers une heure, nous avons commencé l'ascension — une véritable caravane — : guides, porteurs de vêtements pour l'arrivée, chevaux et mulets pour les dames qui n'osent pas aventurer leurs pieds délicats sur ces rudes versants, palanquins pour les invalides ou les timides, etc., — tout cela se met en marche dans l'étroit chemin qui commence au lac de Zug, à Art, et serpente par des forêts, des broussailles, des rochers et des torrents jusqu'au Kulm, jusqu'au sommet du pic. A six heures nous étions sur ce faîte splendide, d'où l'on découvre l'immense chaîne des glaciers des Alpes de l'Oberland, les sommets successifs des plus hautes montagnes, le relief si diversifié de cette contrée morcelée, les versants



Fig. 64. — Lever de soleil au désert.

des collines plus rapprochées, les pâturages et les prairies verdoyantes de ce paradis terrestre, les lacs innombrables qui réfléchissent le ciel, les villes coquettes en miniature, les villages et les chalets rouges qui sont disséminés à tous les points de ce parterre. Nous avions fait, le long de la route, quelques haltes bien nécessaires pour nos poumons, nos jambes, et même pour nos gosiers.

On admire, en montant, la belle vallée qui s'étend au pied du Righi, mais le regard et la pensée sont péniblement surpris du fameux éboulement du Rossberg qui en 1806 engloutit tout le riant village de Goldau et combla une partie de son lac. Cette arête encore blanche de la haute montagne, ces rochers gris amoncelés dans la plaine, invitent à songer aux mouvements incessants de la nature, qui s'accomplissent comme si l'homme n'était pas sur la terre.

Quant au lever du soleil, je ne pense pas qu'il puisse être plus magnifique en aucun lieu de la terre, si ce n'est en ballon.

C'est sublime, et c'est indescriptible. Je ne crois même pas que beaucoup d'âmes le sentent exactement, ni que beaucoup d'esprits le comprennent dans sa vérité.

D'ailleurs la scène, l'instant, la situation, la nouveauté forment un excellent prélude à ce spectacle. Une heure avant le lever du soleil, le chant pastoral d'une trompette de bois éveille les voyageurs. Nous étions 230 ! La lune répandait une faible clarté dans l'Atmosphère, et on distinguait dans le lointain les glaciers blancs éclairés par une teinte mélancolique et silencieuse. Jupiter brillait à côté de la Lune, et Vénus resplendissait à l'orient. A ce tableau particulier de la nuit succéda la toilette des montagnes. Peu à peu, lentement, elles se lavent en quelque sorte de l'obscurité qui les environnait, et se montrent dans leurs formes et dans leur fraternité. Une lumière diffuse se manifeste et s'accroît dans l'air froid et humide du matin. A l'est, l'horizon est crénelé par les dentelures grises qui dessinent seulement sur l'espace plus lumineux la silhouette des sommets.

C'est alors que vers le sud les glaciers pâles, à peine visibles sous le règne de la lune et de l'aurore, deviennent roses, d'un rose tendre et véritablement céleste : le soleil vient de se lever pour ces sommets lointains. Les cimes argentées se dorent et se réunissent, et forment dans l'espace un paysage singulier et frappant, qu'on croirait arrangé par les nuages. Cette illumination des Alpes au lever du soleil offre un caractère d'immensité et de puissance qui donne de la surface terrestre et de son *mouvement vers la lumière* une idée tout à fait spéciale.

Après ces glaciers, d'autres glaciers s'illuminent à leur tour. Du sommet du Righi on domine l'horizon dans toute sa circonférence. Le Finsteraarhorn, l'Aigle, le Moine, la Jungfrau, le Blakenstock, l'Uri, le Sæntis, le Gloernich, et cent autres apparaissent dans la douce splendeur. Des glaciers roses l'œil revient aux découpures de l'horizon oriental.... lorsque soudain un mince rayon rouge apparaît et remplit l'espace. Alors, lentement, majestueusement, l'astre flamboyant semble sortir des cieux gris, et peu à peu, distribuant la clarté matinale sur tous les points, fait surgir de l'ombre montagnes après montagnes, paysages après paysages, développant pour ainsi dire le panorama comme une série de plans qui s'écarteraient et reculeraient, de telle sorte que les glaciers primitivement apparus semblent s'éloigner de plus en plus, et laisser un immense espace à la succession des montagnes, des collines et des vallées plus rapprochées....

La lumière du Soleil donne à notre planète sa parure et sa beauté, aux campagnes le verdoyant tapis des prairies, aux sillons

l'or des blonds épis, aux fleurs leurs chatoyantes couleurs, au ciel son azur et ses nuances variables. Mais en traversant l'Atmosphère, cette lumière est en partie absorbée par les couches d'air qu'elle traverse, et c'est cette absorption qui nous donne notre ciel atmosphérique.

Par des recherches fort curieuses, on a pu évaluer cette absorption. Pour donner une idée de cette méthode, je rappellerai d'abord à nos lecteurs que la lumière, toute coquette et insaisissable qu'elle paraît, est cependant douée d'un pouvoir mécanique aussi réel que celui de la chaleur; je citerai, entre cent exemples, celui de l'explosion d'un mélange de chlore et d'hydrogène dans un flacon. Cette explosion est produite par la seule action de la lumière, attendu qu'en gardant le flacon dans l'obscurité, les deux gaz restent en présence sans se combiner.

Or, dans des recherches spéciales à cet égard, MM. Bunsen et Roscoe ont voulu évaluer en fonction de l'*acide chlorhydrique produit,* la quantité d'action chimique exercée par la lumière.

Pour cela, ils ont fait agir un faisceau de rayons introduit dans une chambre obscure sur le mélange gazeux de chlore et d'hydrogène; en opérant à des hauteurs de soleil différentes, ils ont évalué l'influence absorbante de l'Atmosphère sur les rayons qui avaient ainsi traversé des couches d'air d'épaisseur variable. Ils ont donc pu en déduire la quantité d'action chimique qui serait exercée par le soleil à la limite de notre Atmosphère sur un mélange de chlore et d'hydrogène.

Le calcul appliqué à leurs observations a montré que si les rayons solaires ne subissaient aucune absorption atmosphérique en tombant verticalement sur la terre dans une atmosphère indéfinie de chlore et d'hydrogène, ils provoqueraient, pendant chaque minute, la formation d'une couche d'acide chlorhydrique d'une épaisseur d'environ 35 mètres. Après avoir traversé l'Atmosphère, ces rayons n'ont plus qu'une force représentée par 14 mètres et demi, c'est-à-dire qu'ils ont perdu environ les deux tiers de leur intensité primitive. Les recherches sur le rayonnement solaire ont montré que, dans les mêmes conditions, l'action calorifique est au plus diminuée d'un tiers de sa valeur. Ainsi, les rayons les plus réfrangibles de la lumière sont absorbés en plus grande proportion par l'Atmosphère que les rayons les moins réfrangibles. L'air garde, emploie, réfléchit, fait jouer et travailler les deux tiers de la force lumineuse que le Soleil nous envoie; il n'absorbe au contraire qu'un tiers de la chaleur que nous rece-



Eug. Cicéri, pinx! Eug. Cicéri, Chromolith.

LE LEVER DU SOLEIL VU DU RIGHI.

Imp Lemercier & Cie Paris

vons du même astre. Il semble donc que la lumière ait une fonction plus grande que la chaleur dans l'Atmosphère. Nous verrons du reste, au dernier chapitre de ce Livre, quelle immense importance joue la lumière dans la vie terrestre, végétale et animale.

Les mêmes physiciens cités plus haut ont étudié les intensités totales solaires et atmosphériques dans un certain nombre de localités variant de latitude depuis 15 degrés du pôle (île Melville) jusqu'à 30 degrés de l'équateur (le Caire), évaluées en épaisseur d'acide chlorhydrique formé, comme si les rayons pénétraient dans une atmosphère indéfinie de chlore et d'hydrogène. Les résultats suivants expriment l'action pendant l'intervalle de temps qui s'écoule entre le lever et le coucher du soleil, le jour de l'équinoxe.

Les différences entre les effets qui seraient produits dans ces divers pays sont moins considérables qu'on aurait pu le penser, et la cause en est dans la puissante dissémination lumineuse produite par l'Atmosphère; en effet, l'action photochimique directe du soleil varie comme 1 : 15 : 30 entre l'île Melville, Heidelberg et le Caire, tandis que l'effet de la diffusion atmosphérique varie seulement comme 9 : 16 : 18.

L'absorption des rayons actifs très-réfrangibles augmente rapidement avec l'épaisseur de l'Atmosphère; ainsi, lorsque le soleil a une hauteur moyenne de 25 degrés sur l'horizon, le rapport des intensités chimiques de la lumière directe et de la lumière diffuse sur un papier sensible préparé avec un sel d'argent étant 0,23, celui des intensités lumineuses est 4, c'est-à-dire que l'action de l'Atmosphère est 17 fois plus grande sur les rayons impressionnant chimiquement les composés d'argent que sur les rayons agissant sur la rétine. Lorsque cette hauteur du soleil sur l'horizon n'est plus que de moitié, 12 degrés environ, le rapport moyen des intensités chimiques de la lumière directe et de la lumière diffuse n'est plus que de 0,053 et celui des intensités des rayons lumineux que de 1,4, c'est-à-dire alors que l'action de l'Atmosphère est 26 fois plus grande sur les rayons chimiques du Soleil que sur ses rayons lumineux. A des hauteurs moindres, l'action chimique directe du soleil devient inappréciable, tandis que l'intensité des rayons visibles est encore assez grande; les rayons les plus réfrangibles manquent, ce qui est indiqué par la couleur rouge du disque solaire près de l'horizon.

On a appliqué à la détermination de l'intensité chimique des dif-

férentes parties du soleil la méthode décrite plus haut, et relative à l'emploi du mélange de chlore et d'hydrogène; il a été observé que le centre du disque solaire exerce une action chimique plus intense que les bords. On serait donc conduit à une conséquence analogue à celle que le P. Secchi avait déduite de ses observations, d'après lesquelles le rayonnement calorifique du centre du disque solaire serait plus intense que celui des bords.

MM. Bunsen et Roscoe ont comparé l'action exercée par le soleil sur le mélange de chlore et d'hydrogène avec celle d'une source lumineuse terrestre, d'une masse de magnésium en combustion dans l'air vue sous une grandeur apparente égale à celle sous laquelle nous voyons le soleil : un disque de magnésium en combustion de 1 mètre de diamètre, placé à 107 mètres, produirait la même action sur le mélange de chlore et d'hydrogène que le soleil à la hauteur de 10 degrés.

La lumière solaire directe ayant été comparée à l'arc voltaïque, a donné le rapport de 1000 à 240, c'est-à-dire que le soleil a produit sur les plaques daguerriennes une action chimique quatre fois plus énergique que la lumière de la pile.

Nous analyserons plus loin les radiations lumineuses, calorifiques et chimiques dont le Soleil inonde constamment les planètes placées autour de lui. Qu'il nous suffise ici de sentir l'importance du rôle de la Lumière dans la nature. L'astre gigantesque du Soleil, 1400 mille fois plus gros que la Terre, est un globe incandescent liquide ou gazeux, dont la température n'est pas inférieure à 10 millions de degrés. Les flots considérables de lumière qu'il verse constamment sur la Terre donnent à notre planète à la fois le jour, le mouvement et la vie, et nous savons qu'ils produisent des effets analogues sur les autres mondes. Bientôt nous apprécierons directement toute la grandeur de la radiation solaire. Nous venons ici d'admirer le lever du soleil et de prendre une idée de l'action mécanique de la Lumière. Continuons notre panorama de la nature par l'étude des phénomènes optiques que cet agent admirable crée incessamment dans notre Atmosphère.

CHAPITRE V.

L'ARC-EN-CIEL.

L'action générale de la Lumière dans la nature vient de se présenter à nos yeux par le cours régulier de son œuvre permanente. Ses jeux dans l'Atmosphère sont divers, et produisent mille phénomènes optiques toujours curieux, parfois bizarres, aujourd'hui expliqués par les lois de la physique. Nous consacrerons les chapitres suivants à l'examen de ces phénomènes exclusivement dus à cet agent, à la fois si puissant et si délicat, si doux et si fort.

Le plus fréquent de ces phénomènes et celui dont l'explication simple nous aidera à saisir les autres, c'est la production de l'*Arc-en-ciel*.

Parmi nos lecteurs, il en est bien peu sans doute qui n'aient remarqué, dans la pluie d'un jet d'eau ou d'une cascade, la production d'un petit arc-en-ciel en miniature, analogue à l'arche grandiose qui se projette dans l'espace aérien après une heure d'orage. Toutes les fois que ces petits arcs se présentent, nous pouvons observer trois circonstances : 1° des gouttes de pluie ; 2° la présence du soleil ; 3° la situation précise de l'observateur entre les gouttes d'eau et le soleil.

Ces trois conditions de la production de l'arc-en-ciel vont nous fournir elles-mêmes l'explication de ce gracieux phénomène, dans lequel la religion juive salua la protection de Jéhovah, et la mythologie grecque l'influence agréable de la déesse Iris. Pour voir un arc-en-ciel, soit dans une pluie artificielle, soit dans l'Atmosphère, il faut toujours tourner le dos au soleil. Dans cette situation, les rayons solaires qui éclairent les gouttes d'eau sont réfléchis et réfractés par elles. Voici comment :

Soit, je suppose, une goutte d'eau AII' dans l'Atmosphère. Un rayon solaire arrive sur cette goutte en I, pénètre dans son intérieur en déviant de la ligne droite, puisque tout rayon lumineux subit cette déviation, en passant dans une substance transparente plus dense que l'air. Arrivé au fond A de la petite sphère liquide qui constitue la goutte, il est réfléchi par ce fond et revient vers le côté du soleil avec une déviation nouvelle I'M qui le rapproche de la terre.

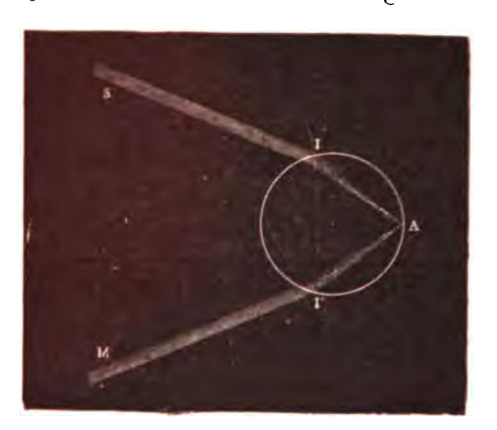


Fig. 65. — Réflexion simple des rayons dans une goutte de pluie.

Ce rayon ainsi décomposé offre toutes les couleurs échelonnées sur des inclinaisons différentes, chaque couleur étant différemment réfrangible. L'inclinaison va en croissant du rouge au violet, de sorte que, si le rayon rouge atteint l'œil, les autres rayons venus de la même goutte ne peuvent l'atteindre, mais une goutte moins élevée pourra lui envoyer un rayon violet. L'observateur voit donc dans la direction de ces gouttes un endroit rouge en haut, un endroit violet en bas. Les gouttes intermédiaires envoient semblablement à l'œil les rayons compris entre le rouge et le violet. On a ainsi un spectre solaire dont les couleurs sont, en partant du point le plus bas, *violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.*

Imaginons maintenant une surface conique, ayant pour axe la droite qui va de l'œil de l'observateur au soleil, et passant par la goutte. Chacune des gouttes d'eau qui se trouvent sur cette surface produit le même effet; on a donc un ensemble de spectres formant une bande circulaire, irisée, dans laquelle les couleurs simples se succèdent suivant l'ordre indiqué, le violet *a* (fig. 68) étant en dedans, et le rouge *b* en dehors.

Le phénomène se reproduit tant que les gouttes d'eau se succèdent dans la même région de l'espace; l'apparence lumineuse se renouvelle en même temps que le passage de ces gouttes, et l'on voit l'arc persister. On démontre par le calcul que l'angle du cône des rayons rouges est de 42 degrés (42° 20'), et celui du cône des rayons violets de 40 degrés (40° 30') : telle est la distance de l'arc au centre, point où se projetterait l'ombre de la tête du spec-

tateur P (fig. 68). Le diamètre HH' (fig. 68) de l'arc total soustend un angle de 84 degrés; la largeur de l'arc est de 2 degrés, c'est-à-dire à peu près quatre fois le diamètre apparent du soleil.

L'arc-en-ciel constate donc l'existence de petites sphères d'eau liquide tombant en pluie au sein de l'Atmosphère. L'arc est d'autant plus brillant que leur grosseur est plus grande. Il faut qu'elles soient beaucoup plus grosses que celles qui forment les nuages pour que l'œil puisse distinguer les couleurs. Voilà pourquoi les brouillards et les nuages ne produisent pas d'arc-en-ciel.

Sachant que l'arc-en-ciel est produit par les rayons de soleil ré-

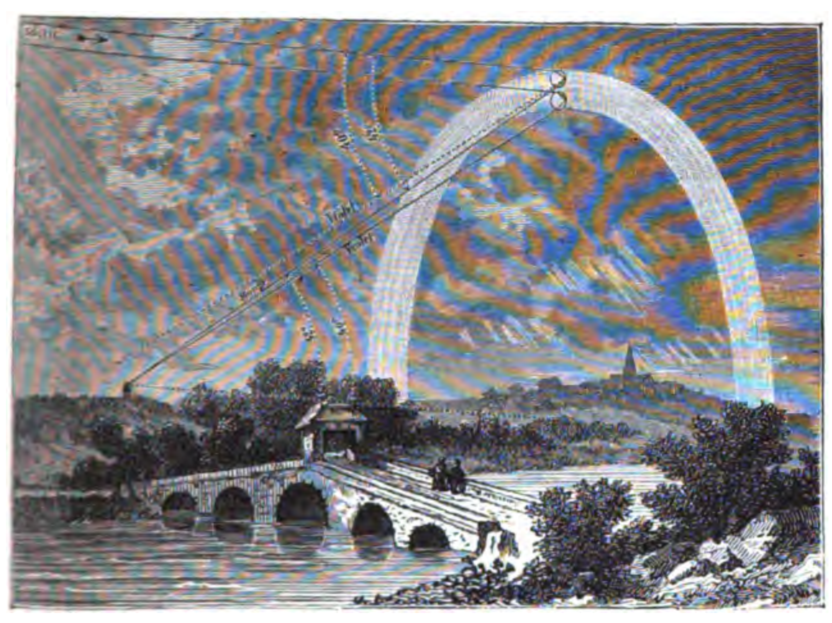


Fig. 66. — Formation de l'arc-en-ciel.

fractés sur les gouttes de pluie qui tombent, nous pouvons en déduire non-seulement la grandeur de cet arc, mais aussi les conditions sans lesquelles il ne saurait avoir lieu. Si le soleil était à l'horizon, l'ombre de la tête du spectateur y tomberait aussi; et, comme l'axe du cône serait horizontal, il s'ensuit que nous verrions une demi-circonférence complète d'un demi-diamètre apparent de 41 degrés. Dès que le soleil s'élève, l'axe du cône s'abaisse et l'arc devient plus petit; enfin, si le soleil atteint une hauteur de 41 degrés, l'axe du cône forme le même angle avec le plan de l'horizon, et l'arc devient tangent à ce plan. Si le soleil était encore plus élevé, l'arc se projetterait sur la terre. On voit rarement le phénomène quand il se

[illegible] disparaît
[illegible] ne saurait voir
[illegible] la terre ne peut
[illegible] à l'horizon),
[illegible] degrés. Quand la
[illegible] arc inférieur, on
[illegible] circonférence
[illegible] et par une
[illegible] menée, je
[illegible] intérieur.
[illegible] un second arc
[illegible] inverse du
[illegible] second arc s'ex-
[illegible] (fig. 67 et
[illegible] 68). Dans
[illegible] subies
[illegible] après leur
[illegible] pour les rayons
[illegible] pour les vio-
[illegible] est tou-
[illegible] que le premier.
[illegible] comprise entre
[illegible] plus foncée que
[illegible] observations, me
[illegible] lumineux.



[illegible] peu-
[illegible] plus pâles, peu-
[illegible] les voir. On a
[illegible] degrés du soleil.
[illegible] solaires sur
[illegible]

[illegible] par la
[illegible] engendre aussi
[illegible] couper l'arc
[illegible] de l'astre. Si
[illegible] les quatre cour-
[illegible] Une circonstance
[illegible] distinctes est citée
[illegible] trois arcs, dont l'un était formé par

Hachette & Cie



A. Marie pinx!

Eug. Cicéri Chromolith.

L' ARC-EN-CIEL

Imp. Lemercier & Cie Paris

les rayons réfléchis sur une rivière. Cet arc coupait d'abord l'arc extérieur de manière à le partager en trois parties égales. Quand le soleil s'abaissa vers l'horizon, les points de rencontre se rapprochèrent. Il n'y en eut bientôt plus qu'un seul, et, comme les couleurs étaient dans un ordre inverse, le blanc parfait se forma par la superposition des deux séries. Le soleil peut du reste produire, après s'être réfléchi sur une nappe d'eau, un cercle complet. Quelquefois la partie supérieure manque, et il reste le singulier phénomène de l'arc-en-ciel renversé.

Les académiciens envoyés au cercle polaire pour la mesure du méridien observèrent, le 17 juillet 1736, sur la montagne de Ke-

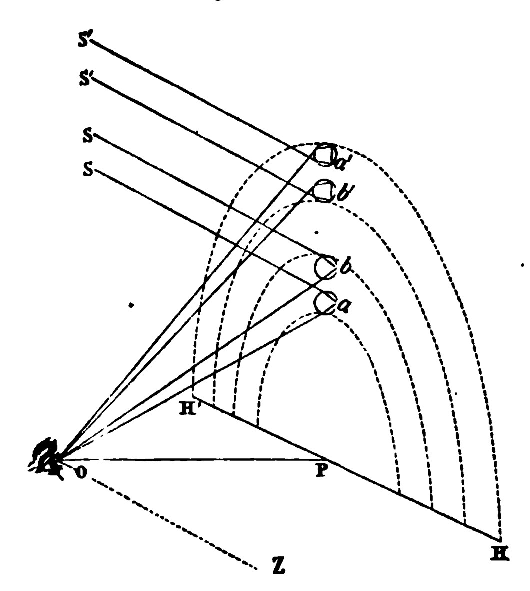


Fig. 68. — Théorie des deux arcs de l'arc-en-ciel.

tima, un ***arc-en-ciel triple*** analogue à celui dont parle Halley. Dans celui du bas le violet était en bas, le rouge en dehors, comme toujours : c'est l'arc principal. Le second, qui lui est parallèle, est l'arc secondaire, chez lequel le rouge est en bas et le violet en haut. Le troisième arc, partant des pieds du premier, traversait le second et avait, comme le principal, le violet en dedans et le rouge en dehors. C'est cette observation que nous reproduisons figure 69.

Puisque l'arc-en-ciel est dû à la réfraction et à la réflexion des rayons solaires sur des gouttelettes d'eau tombant dans l'air, on conçoit que la lumière de la lune puisse donner naissance à une apparition analogue, quoique moins intense. C'est ce qu'il m'a été

donné de constater un soir de printemps à Compiègne. C'était le 9 mai 1865, à 10 heures 30 minutes du soir. Le principal du collége eut l'obligeance de venir me prévenir de l'apparition qu'il venait de remarquer, et nous pûmes l'étudier à loisir. C'était la veille de la pleine lune. L'astre était élevé de 60 degrés au-dessus de l'horizon oriental. L'*arc-en-ciel lunaire* se déployait à l'ouest avec une grande netteté de teintes. On distinguait les sept couleurs prismatiques dans leur ordre normal. Au-dessus de l'arc principal on remarquait l'arc secondaire, plus faible, mais encore nettement dessiné. Ce phénomène météorologique, qui ne laissait rien à désirer, est d'autant plus rare que sa visibilité réunit plus de conditions difficiles à trouver réunies. La journée avait été orageuse et une petite averse venait tout récemment d'arroser le parc, ce qui avait élevé dans l'Atmosphère les parfums des lilas et des giroflées, et donnait un charme particulier à cette douce soirée du mois de Maïa.

Brandes, Dionis Duséjour, Sennert, de Tessan, Rozier, Bravais ont observé et décrit l'arc-en-ciel nocturne. Je lis aussi dans Améric Vespuce (1501) qu'il a observé plusieurs fois « l'iris pendant la nuit » et des météores rares dans l'ancien continent. Il croit que le rouge de l'arc vient du feu, le vert de la terre, le blanc de l'air et le bleu de l'eau; et il ajoute : ce signe cessera de paraître quand les éléments seront usés « quarante ans avant la fin du monde. »

Je vois dans un ancien traité de météorologie, celui du P. Cotte, qu'en outre de l'arc-en-ciel ordinaire, de l'arc secondaire, des arcs réfléchis, et de l'arc-en-ciel lunaire, on a encore mentionné une autre sorte d'effet optique nommé « arc-en-ciel marin », formé sur la surface de la mer, composé d'un grand nombre de zones, et apparaissant parfois sur les prairies humides à l'opposite du Soleil. Ce cinquième aspect est une espèce d'anthélie, que je décrirai plus loin, à la fin du chapitre suivant.

On a aussi donné le nom d'arc-en-ciel « blanc » au cercle anthélique dont il sera question dans le même chapitre.

Enfin on remarque parfois des bandes colorées au-dessous du violet de l'arc-en-ciel ordinaire; elles paraissent appartenir à un arc superposé au premier. Cet arc prend alors le nom d'arc *surnuméraire;* il est dû à des effets très-complexes d'interférence. — A tous ces faits j'ajouterai encore l'observation suivante.

Le 30 décembre 1868, de 2 heures 45 minutes à 3 heures, entre Rouilly-Saint-Loup et Troyes, je vis un magnifique arc-en-ciel marchant, ayant son pied droit dans l'est et son pied gauche dans le nord-ouest. Le train marchait d'abord de l'est à l'ouest et tourna



Eug. Cicéri Pinxt Eug. Cicéri Chromolith.

ARC-EN-CIEL LUNAIRE OBSERVÉ A COMPIÈGNE.

Imp. Lemercier & Cie Paris

bientôt tout à fait du sud au nord. Dans la première position, le pied droit de l'arc était vu vers l'arrière du train. Avançant peu à peu, il finit par être vu tout à fait en face de mon compartiment.

En même temps, en 5 minutes, l'arc *s'éleva* dans le ciel, sur les nuages différents et parfois même se dessinant en vert-violet sur l'azur. Lorsque l'arche eut atteint la partie supérieure du ciel, où il n'y avait plus de nuages, elle disparut en haut, les pieds restant visibles sur les nuées grises inférieures. On ne voyait point sur quelles gouttes de pluie l'arc se dessinait. En arrivant à Troyes,

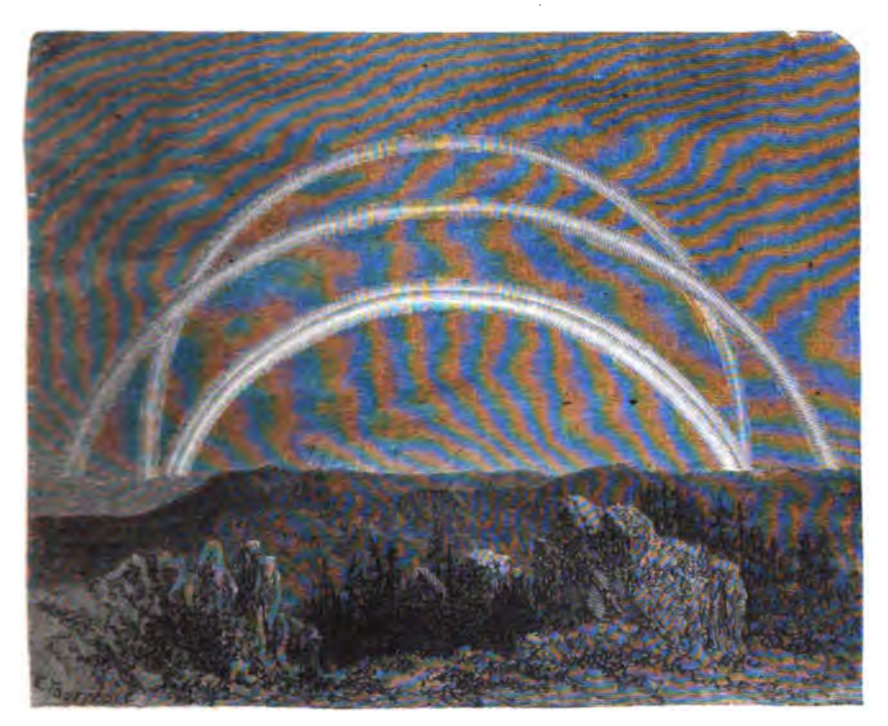


Fig. 69. — Arc-en-ciel triple.

j'observai qu'il avait dû tomber un peu d'eau. Le temps était resté très-beau sur la ligne depuis Chaumont.

C'est la seule fois que j'aie vu marcher un arc-en-ciel.

Une autre observation intéressante que j'ai faite, le 4 juin 1871, est celle d'un arc-en-ciel entièrement visible sur le ciel *resté bleu*. Les couleurs sont plus légères et plus aériennes encore que dans l'état ordinaire. Je me trouvais alors entre Dieppe et Rouen, au-dessus de la verdoyante vallée de Monville. Le fait s'explique en remarquant que la pluie rare qui tombait devant les spectateurs

n'était pas assez épaisse pour modifier l'azur du ciel situé derrière elle, et que les nuages passagers d'où ces gouttelettes tombèrent ne s'étendaient pas jusqu'à la région sur laquelle l'arc se projetait.

Avant que la science ait donné l'explication de ce simple phénomène optique, il était interprété comme un signe céleste, et il n'est pas sans intérêt de revoir ce qu'on en pensait alors.

L'*arc-en-ciel* était, aux yeux des Hébreux, le gage de l'alliance que Dieu avait contractée avec les hommes, suivant sa promesse à Noé après le déluge.

Ayant paru comme un signe d'alliance entre Dieu et les hommes, il semblait conséquent d'admettre que ce phénomène ne pouvait être antérieur au déluge. Les théologiens ont sérieusement discuté ce point de dogme. Luther n'hésite pas à déclarer que l'arc-en-ciel parut miraculeusement après le déluge. Fromond, au contraire, admet que, du jour où Dieu eut créé le soleil et l'eau, l'arc-en-ciel dut exister; mais qu'il devint seulement après le déluge un signe du pacte conclu entre Dieu et les hommes.

Chez les Grecs, *Iris* (Ιρ', arc) était fille de *Thaumas* (merveille) et d'*Électre* (splendeur du soleil); elle était sœur des *Harpies* et d'*Aëllo* (tempête). Ce symbole rappelait que pour faire naître l'arc-en-ciel il faut que le soleil luise et que le temps soit pluvieux. — Remarquons encore quelques détails historiques curieux.

Bien que messagère de Junon, on voit par l'Iliade que le maître des dieux avait parfois aussi recours à Iris. Les divinités ne pouvaient, en effet, avoir de plus gracieux envoyé. Elle servait aussi de ceinture aux dieux; les poëtes la représentaient ornée des plus belles couleurs. On lui attribuait, enfin, la formation des nuages pluvieux.

Uranus fut vaincu par Kronos, à l'aide d'une immense faux céleste, qui n'était autre que l'arc-en-ciel.

Iris purifia Junon revenant des enfers. Les anciens semblaient, ainsi, faire jouer un rôle de salubrité à l'apparition de l'arc-en-ciel dans l'atmosphère. Quelquefois, cependant, ils en faisaient aussi la messagère de la Discorde.

Chez les Scandinaves, l'arc-en-ciel est un pont de trois couleurs, d'une grande solidité, jeté entre le ciel et la terre et par lequel les géants tenteront plus d'une fois d'escalader la demeure des dieux; mais le sillon de feu tracé dans le milieu est un obstacle au passage des géants. Heimdall, né de sept femmes, garde ce pont céleste.

Les théologiens, saint Basile entre autres, voyaient dans les trois couleurs de l'iris un symbole de la Trinité. Plusieurs Pères n'y reconnaissaient cependant que deux couleurs, le bleu et le rouge, qui étaient, pour eux, emblématiques des deux natures du Christ, etc. On conçoit que toutes ces imaginations n'étaient pas faites pour amener la théorie scientifique.

Le premier qui ait tenté d'expliquer le phénomène de l'arc-en-ciel par une réflexion de la lumière à l'intérieur des gouttes de pluie, est un moine allemand nommé Théodoric; le second est un archevêque, A. de Dominis (1611). Mais la véritable théorie en a été donnée pour la première fois par Descartes, sauf la séparation des couleurs qui ne fut déterminée que par la découverte de Newton sur l'inégale réfrangibilité des rayons du spectre solaire.

CHAPITRE VI.

ANTHÉLIES.

SPECTRES. — OMBRES SUR LES MONTAGNES. — CERCLE D'ULLOA.
CERCLE ÉTUDIÉ EN BALLON.

Les traités de météorologie n'ont pas, jusqu'à ce jour, mis l'ordre nécessaire dans la classification des divers phénomènes optiques de l'air. Quelques-uns de ces phénomènes, d'ailleurs, n'ont été vus que rarement, et leur étude avait été insuffisante pour cette classification. Cependant la méthode de description scientifique est assez importante pour que nous nous arrêtions un instant à nous en rendre compte, car c'est la condition même de toute clarté dans un sujet aussi complexe.

Nous venons d'examiner le phénomène si fréquent de la production de l'arc-en-ciel, et nous avons vu qu'il est dû à la réfraction et à la réflexion de la lumière dans des gouttes d'eau, et qu'il se produit à l'*opposé* du soleil ou de l'astre éclairant. Nous allons maintenant aborder un ordre de phénomènes plus rares, mais qui offrent avec l'arc-en-ciel le lien commun de se produire également à l'opposé du soleil. Je réunirai ici ces divers effets optiques sous le nom d'*anthélies* (de ἀνθὶ, à l'opposite, et ἥλιος, soleil).

Les phénomènes optiques qui se produisent du côté du soleil, ou autour de lui, tels que les halos, parhélies, etc., formeront le sujet du chapitre suivant.

Avant d'arriver aux anthélies proprement dits, ou aux cercles coloriés qui apparaissent autour d'une ombre, il est bon de signa-

ler d'abord les effets produits à l'opposite du soleil sur les nuages ou les vapeurs au lever ou au coucher de l'astre du jour.

Sur les hautes montagnes, on voit assez souvent l'ombre de la montagne se dessiner soit sur la nappe des brouillards inférieurs, soit sur les monts voisins, projetée à l'opposite du soleil presque horizontal. J'ai vu distinctement l'*ombre du Righi* se dessiner nettement sur le mont Pilate situé à l'ouest du Righi, de l'autre côté du lac de Lucerne. Ce phénomène se produit quelques minutes après le lever du soleil, et la forme triangulaire du Righi est dessinée dans une esquisse très-facile à reconnaître.

L'*ombre du mont Blanc* se voit plus facilement au coucher du soleil. Dans l'une de leurs ascensions scientifiques, MM. Bravais et Martins l'observèrent entre autres dans une situation très-favorable; elle se dessinait sur les montagnes couvertes de neige, et elle s'éleva graduellement dans l'Atmosphère jusqu'à atteindre la hauteur d'un degré, restant encore parfaitement visible : l'air, au-dessus du cône d'ombre, était teint de ce rose pourpre que l'on voit, dans les beaux couchers de soleil, colorer les hautes cimes. « Que l'on imagine, dit Bravais, les autres montagnes projetant, elles aussi, à ce même moment, leur ombre dans l'Atmosphère, la partie inférieure sombre avec un peu de verdâtre, et au-dessus de chacune de ces ombres la nappe rose purpurine avec la ceinture rose foncée qui la séparait d'elles; que l'on ajoute à cela la rectitude du contour des cônes d'ombre, principalement de leur arête supérieure, et enfin les lois de la perspective faisant converger toutes ces lignes l'une sur l'autre, vers le sommet même de l'ombre du mont Blanc, c'est-à-dire du point du ciel où les ombres de nos corps devaient être placées, et l'on n'aura encore qu'une idée incomplète de la richesse du phénomène météorologique qui se déploya pour nous pendant quelques instants. Il semblait qu'un être invisible était placé sur un trône bordé de feu, et que, à genoux, des anges aux ailes étincelantes l'adoraient, tous inclinés vers lui. A la vue de tant de magnificence, nos bras et ceux de nos guides restèrent inactifs, et des cris d'enthousiasme s'échappèrent de nos poitrines. »

Parmi les phénomènes naturels qui s'offrent à nos regards sans exciter notre surprise ou attirer notre attention, il s'en rencontre quelquefois qui possèdent les caractères d'une intervention surnaturelle. Les noms qu'ils ont reçus témoignent encore de la terreur qu'ils inspiraient; et même aujourd'hui, que la science les a dépouilles de leur origine merveilleuse et a expliqué les causes

de leur production, ces phénomènes ont conservé une partie de leur importance primitive, et sont accueillis par le savant avec autant d'intérêt que lorsqu'on les considérait comme les effets immédiats de la puissance divine.

Dans leur multitude assez variée nous devons signaler d'abord ici le *Spectre du Brocken.*

Le *Brocken* est le nom de la montagne la plus élevée de la chaîne pittoresque du Hartz, dans le royaume de Hanovre. Il est élevé d'environ 3300 pieds au-dessus du niveau de la mer, et de son sommet on découvre une plaine de 70 lieues d'étendue, occupant presque la vingtième partie de l'Europe, et dont la population est de 5 millions d'habitants.

Dès les époques historiques les plus reculées, le Brocken a été le théâtre du merveilleux. On voit encore sur son sommet des blocs de granit, désignés sous les noms de *siége* et d'*autel de la sorcière;* une source d'eau limpide s'appelle la *fontaine magique*, et l'anémone du Brocken est pour le peuple la *fleur de la sorcière.* On peut présumer que ces dénominations doivent leur origine aux sites de la grande idole que les Saxons adoraient en secret au sommet du Brocken, lorsque le christianisme était déjà dominant dans la plaine. Comme le lieu où se célébrait ce culte doit avoir été très-fréquenté, il n'est pas douteux que le spectre, qui aujourd'hui le hante si fréquemment au lever du soleil, ne se soit montré également à ces époques reculées. Aussi, la tradition annonce-t-elle que ce spectre avait sa part des tributs d'une idolâtre superstition.

L'une des meilleures descriptions de ce phénomène est celle qu'en a donnée le voyageur Hane, qui en fut témoin le 23 mai 1797. Après être monté plus de trente fois au sommet de la montagne, il eut le bonheur de contempler l'objet de sa curiosité. Le soleil se levait à environ quatre heures du matin par un temps serein; le vent chassait devant lui, à l'ouest, des vapeurs transparentes qui n'avaient pas encore eu le temps de se condenser en nuages. Vers quatre heures un quart, le voyageur aperçut dans cette direction une figure humaine de dimensions monstrueuses. Un coup de vent ayant failli emporter le chapeau du touriste, il y porta la main, et la figure colossale fit le même geste. Hane fit immédiatement un autre mouvement en se baissant, et cette action fut reproduite par le spectre. Le voyageur appela alors une autre personne. Celle-ci vint le rejoindre; et tous deux s'étant placés sur le lieu même d'où l'apparition avait été vue d'abord, ils dirigèrent leurs regards vers l'Achtermannshohe, mais ils ne virent plus rien. Peu après, deux figures colossales parurent dans la même direction, reproduisirent les gestes des deux spectateurs, puis disparurent.

Il y a quelques années (été de 1862), un artiste français, M. Stroobant, a pu observer et dessiner avec soin ce phénomène. C'est ce dessin que l'on voit ici. L'observateur était allé coucher à l'auberge du Brocken, et s'étant fait éveiller vers deux heures du matin, il parcourut le sommet du plateau en compagnie d'un guide. Ils arrivèrent au bord d'un point culminant au moment où les premières lueurs du soleil levant permettaient de distinguer avec netteté les objets qui se trouvaient à une assez grande distance. « Mon guide, dit M. Stroobant, qui depuis quelque temps marchait le nez au vent, regardant tantôt à droite, tantôt à gauche, m'entraîna tout à coup sur une élévation d'où j'eus le rare bonheur de contempler pendant quelques instants ce magnifique effet de mirage qu'on appelle le Spectre du Brocken. L'effet en est saisissant; un brouillard épais, qui semblait sortir des nuages comme un immense rideau, s'éleva tout à coup à l'ouest de la montagne; un arc-en-ciel se forma, puis certaines formes indécises se dessinèrent. C'était d'abord la grande tour de l'auberge qui s'y trouvait reproduite dans des proportions gigantesques, puis nos deux silhouettes plus vagues et moins correctes; toutes ces ombres portées étaient entourées des couleurs de l'arc-en-ciel servant de cadre à ce tableau féerique. Quelques touristes qui se trouvaient à l'hôtel avaient vu, de leur fenêtre, apparaître l'astre à l'horizon, mais personne n'avait aperçu la grande scène qui se passait de l'autre côté de la montagne. »

Quelquefois ces spectres sont entourés d'arcs coloriés concentriques. Depuis le commencement de ce siècle, les traités de météorologie désignent sous le nom de *Cercle d'Ulloa* l'arc extérieur pâle qui environne le phénomène, et parfois on a donné à ce même cercle le nom d' « arc-en-ciel blanc. » Mais il n'est pas formé à la même distance angulaire que l'arc-en-ciel; il n'est pas toujours unique, et, quoique pâle, enveloppe souvent une série d'arcs coloriés intérieurs.

Ulloa se trouvait au point du jour sur le Pambamarca, avec six compagnons de voyage; le sommet de la montagne était entièrement couvert de nuages épais; le soleil, en se levant, dissipa ces nuages, et il ne resta à leur place que des vapeurs légères qu'il était presque impossible de distinguer. Tout à coup, au côté opposé à celui où se levait le soleil, « chacun des voyageurs aperçut, à une douzaine de toises de la place qu'il occupait, son image réfléchie dans l'air comme dans un miroir; l'image était au centre de trois arcs-en-ciel nuancés de diverses couleurs et entourés à une



Fig. 70. — Le Spectre du Brocken.

certaine distance par un quatrième arc d'une seule couleur. La couleur la plus intérieure de chaque arc était incarnat ou rouge; la nuance voisine était orangée, la troisième était jaune, la quatrième paille, la dernière verte. Tous ces arcs étaient perpendiculaires à l'horizon; ils se mouvaient et suivaient dans toutes les directions la personne dont ils enveloppaient l'image comme une gloire. » Ce qu'il y avait de plus remarquable, c'est que, bien que les sept voyageurs fussent réunis en un seul groupe, chacun d'eux ne voyait le phénomène que relativement à lui, et était disposé à



Fig. 71. — Cercle d'Ulloa.

nier qu'il fût répété pour les autres. L'étendue des arcs augmenta progressivement en proportion avec la hauteur du soleil; en même temps leurs couleurs s'évanouirent, les spectres devinrent de plus en plus pâles et vagues, et enfin le phénomène disparut entièrement. Au commencement de l'apparition, la figure des arcs était ovale; vers la fin, elle était parfaitement circulaire.

La même apparition a été observée dans les régions polaires par Scoresby, et décrite par lui. Suivant ses observations, le phénomène se montre chaque fois qu'il y a simultanément du brouillard et du soleil. Dans les mers polaires, quand une couche de brouillard peu épaisse s'élève sur la mer, un observateur, placé sur le

mât de misaine, aperçoit un ou plusieurs cercles sur le brouillard. Ces cercles sont concentriques et leur centre commun se trouve sur une ligne droite qui va de l'œil de l'observateur au brouillard, du côté opposé au soleil. Le nombre des cercles varie de un à cinq; ils sont surtout nombreux et bien colorés quand le soleil est très-brillant et le brouillard épais et bas. Le 23 juillet 1821, Scoresby vit quatre cercles concentriques autour de sa tête. Les couleurs du premier et du second étaient très-vives; celles du troisième, visibles seulement par intervalles, étaient très-faibles, et le quatrième n'offrait qu'une légère teinte de vert.

Le météorologiste Kaemtz a souvent observé le même fait dans les Alpes. Dès que son ombre était portée sur un nuage, sa tête se montrait entourée d'une auréole lumineuse.

A quel jeu de la lumière ce phénomène est-il dû? — Bouguer émet l'opinion qu'il est dû au passage de la lumière à travers des particules glacées. Telle est aussi l'opinion de Saussure, de Scoresby et d'autres météorologistes.

Sur les montagnes, comme on ne peut s'assurer directement du fait en s'envolant dans le nuage, on en est réduit à des conjectures Il faudrait pouvoir se transporter en ballon au milieu de la nuée. L'aérostat traversant les nuages de part en part, résidant au milieu d'eux et passant sur les points mêmes où l'apparition se montre, on peut facilement se rendre compte de l'état du nuage. C'est l'observation qu'il m'a été donné de faire, et qui m'a permis d'avoir l'explication du phénomène.

En même temps que le ballon vogue emporté par le courant, son ombre voyage soit sur la campagne, soit sur les nuages. Cette ombre est ordinairement noire, comme toute ombre. Mais il arrive fréquemment aussi qu'elle se détache en clair sur le fond de la campagne, et paraît ainsi lumineuse.

En examinant cette ombre à l'aide d'une lunette, j'ai remarqué que très-souvent elle se compose d'un noyau foncé et d'une pénombre en forme d'aureole. Cette auréole, souvent très-large relativement au diamètre du noyau central, l'éclipse à la simple vue, de sorte que l'ombre tout entière paraît comme une nébuleuse circulaire se projetant en jaune sur le fond vert des bois et des prés. J'ai remarqué qu'en général cette ombre lumineuse est d'autant plus accentuée que l'humidité est plus grande à la surface du sol.

Sur les nuages, cette ombre présente parfois un aspect étrange. Il m'est arrivé plusieurs fois, en sortant du sein des nues et en arrivant dans le ciel pur, d'apercevoir tout à coup, à 20 ou 30

mètres de moi, un second aérostat parfaitement dessiné se dégageant en gris sur le fond blanc des nuages. Ce phénomène se manifeste au moment où l'on revoit le soleil. On distingue les plus légers détails de l'armature de la nacelle, et notre ombre reproduit curieusement nos gestes.

Le 15 avril 1868, vers trois heures et demie du soir, nous sortions d'une couche de nuages, lorsque l'ombre du ballon nous est apparue environnée de cercles concentriques colorés, dont la nacelle formait le centre. Elle se détachait admirablement sur un fond jaune blanc. Un premier cercle bleu pâle ceignait ce fond et la nacelle en forme d'anneau. Autour de cet anneau s'en dessinait un second jaunâtre; puis une zone rouge gris, et enfin, comme circonférence extérieure, un quatrième cercle, violet, et se fondant insensiblement avec la tonalité grise des nuages. On distinguait les plus petits détails : filet, cordes de la nacelle, instruments. Chacun de nos gestes était instantanément reproduit par les sosies du spectre aérien. Je lève le bras par surprise : l'un des spectres aériens lève le sien. Mon aéronaute agite le drapeau français; le pilote de l'autre aérostat nous présente le même étendard.... L'anthélie resta sur les nuages, assez nettement dessiné et assez longtemps pour que je puisse en prendre un croquis sur mon journal de bord et étudier l'état physique des nuages sur lesquels il se produit. La figure 72 représente cette ombre et ces cercles tels qu'ils se sont offerts devant nous. Le lecteur est supposé dans la nacelle, et voir l'anthélie comme nous l'avons vu [1].

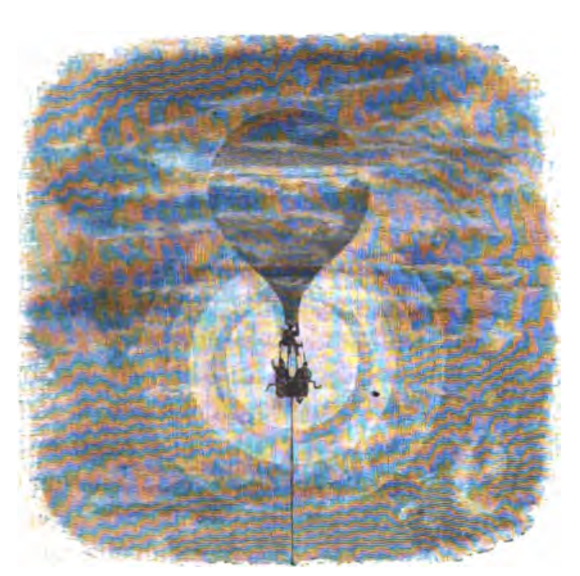


Fig. 72. — Ombre du ballon et anthélie.

Ce phénomène ne diffère pas essentiellement de celui qu'on a

1. Une image coloriée de ce curieux phénomène a été donnée dans les *Voyages aériens* que j'ai publiés en collaboration avec MM. Glaisher, de Fonvielle et G. Tissandier, 2e partie, p. 292.

désigné sous le nom de *Cercle d'Ulloa*, dont nous venons de parler tout à l'heure, et l'analogie est même si approchée que je le vois dans un récent traité de physique, désigné sous la dénomination trop attentive pour moi de *Cercle de Flammarion*. J'ai pu déterminer directement les circonstances de sa production. En effet, comme ce brillant phénomène optique se produisait sur les nuages mêmes au milieu desquels je naviguais, il m'a été facile de constater que ces nuages n'étaient point formés de particules glacées; le thermomètre marquait 2 degrés au-dessus de zéro. L'hygromètre marquait un maximum d'humidité (77) à 1150 mètres, et l'aérostat planait alors à 1400, où l'humidité n'était plus que de 73. Il est donc certain que c'est là un phénomène de *diffraction* de la lumière produit simplement sur les *vésicules du brouillard*.

On donne le nom de diffraction à l'ensemble des modifications qu'éprouvent les rayons lumineux lorsqu'ils viennent à raser la surface des corps. La lumière éprouve, dans ces circonstances, une sorte de déviation, en même temps qu'elle est décomposée, d'où résultent dans l'ombre des corps des apparences fort curieuses qui ont été observées, pour la première fois, par Grimaldi et Newton.

Les phénomènes les plus intéressants de la diffraction sont ceux que présentent les *réseaux;* on appelle ainsi un système d'ouvertures linéaires très-étroites placées à côté les unes des autres à une très-petite distance. On peut réaliser un système de ce genre en traçant, par exemple, sur une plaque de verre avec un diamant, des traits équidistants. La lumière pouvant passer dans les intervalles des traits, tandis qu'elle est arrêtée dans les points correspondants à ceux où le verre a été dépoli, on a, en réalité, comme un système d'ouvertures très-rapprochées; on peut facilement tracer ainsi cent traits dans la longueur d'un millimètre. La lumière est alors décomposée en spectres empiétant les uns sur les autres. C'est un phénomène de ce genre qu'on observe quand on regarde une lumière en clignant des yeux; les cils, dans ce cas, servent de réseaux.

Les réseaux peuvent aussi se produire par réflexion, et c'est à cette circonstance que sont dues les brillantes couleurs que l'on observe en faisant réfléchir un faisceau lumineux sur une surface métallique régulièrement striée.

C'est au phénomène des réseaux qu'on doit attribuer les couleurs quelquefois si brillantes que présente la nacre de perle. Cette substance est à structure feuilletée, si bien que, lorsqu'on la taille, on coupe ces différents feuillets dont la tranche vient

former à la surface un véritable réseau. C'est encore à un phénomène du même genre qu'est due l'irisation que présentent les plumes de certains oiseaux et aussi quelquefois les fils d'araignée. Ces derniers, quoique très-fins, ne sont pas simples; ils sont formés d'un grand nombre de brins réunis les uns aux autres par une substance visqueuse, et constituent ainsi une sorte de réseau.

Si le soleil est près de l'horizon et que l'ombre de l'observateur tombe sur de l'herbe, un champ de céréales ou une autre surface couverte de rosée, alors on observe une auréole dont la lueur est vive surtout dans le voisinage de la tête, mais qui va en diminuant à partir de ce centre. Cette lueur est due à la réflexion de la lumière par les chaumes mouillés et les gouttes de rosée; elle est plus vive autour de la tête, parce que les chaumes situés dans le voisinage de l'ombre de la tête lui montrent toute leur portion éclairée, tandis que ceux qui sont plus éloignés lui montrent des parties éclairées et d'autres qui ne le sont pas, ce qui diminue leur clarté proportionnellement à leur distance de la tête.

Le phénomène se montre chaque fois qu'il y a simultanément du brouillard et du soleil. On vérifie facilement ce fait sur les montagnes. Dès que notre ombre est projetée sur un brouillard, notre tête dessine une silhouette d'ombre entourée d'une auréole lumineuse.

Mon savant collègue de la Société des sciences naturelles de Strasbourg, M. Gay (Bulletin de cette Académie, novembre 1868) a observé à la Grande-Chartreuse un phénomène analogue à celui que je viens de décrire.

C'était le 3 septembre 1868. Le narrateur se trouvait, vers cinq heures du soir, avec plusieurs personnes, sur l'étroite plate-forme qui termine le Grand-Som (2033 mètres d'altitude), et dont les parois se dressent à pic au-dessus de la Grande-Chartreuse. Des nuages qui nous enveloppaient à chaque instant, dit-il, ne nous laissaient apercevoir que par intervalles le magnifique panorama que l'on découvre par un temps clair. Le soleil était près de se coucher derrière les montagnes qui ferment le désert, lorsqu'en nous retournant du côté de la Savoie nous fûmes témoins d'un très-beau spectacle; notre ombre et celle de la croix plantée sur le sommet se projetaient un peu agrandies sur le nuage, entourées d'un cercle irisé. Nous pouvions voir distinctement nos mouvements reproduits par l'ombre : elle paraissait être à une centaine de pas et un peu au-dessous de nous; elle se détachait sur un fond vivement éclairé, à l'exception du cône formé par l'ombre de la mon-

tagne; un cercle présentant toutes les couleurs du spectre, le violet à l'intérieur, le rouge au dehors, l'entourait complétement et se voyait encore fort bien à travers le cône obscur formé par l'ombre du Grand-Som. Malheureusement les nuages se déplaçaient sans cesse, et le phénomène s'effaça bientôt pour reparaître assez vif, mais très-fugitif, quelques instants après.

L'*Illustrated London News* du 8 juillet 1871 représente une de ces apparitions, « the *Fog Bow*, seen from the Matterhorn, » observée par M. E. Whymper, dans cette partie célèbre des Alpes. C'était après la catastrophe du 14 juillet 1865, et par une singulière correspondance, deux immenses *croix aériennes* se projetaient en dedans de l'arc extérieur, unique et blanc. Ces deux croix étaient formées sans doute par l'intersection de cercles dont le reste était invisible. L'apparition offrait un caractère grandiose et solennel, augmenté encore par le silence des abîmes insondables au fond desquels les quatre infortunés touristes venaient d'être précipités.

On a fait en diverses conditions des observations indicatrices et approchées de ce même effet d'optique plus ou moins complet. Ainsi, en consultant sur ce point les Comptes rendus de l'Académie, je remarque l'observation faite le 23 octobre 1866, à 7 h. 30 du matin, par un officier du génie, M. Moulin, se rendant à cheval au polygone de Versailles. Le fossé qui borde la route était plein d'un brouillard dense. A l'opposite du Soleil l'observateur remarque un disque brillant bordé de bandes irisées qui se dessinait nettement à une distance apparente de 30 mètres en contre-bas. Puis au centre il remarque sa silhouette comportant le buste au-dessus du cheval, la tête se trouvant au centre de cette couronne antisolaire. L'auteur rattache cet effet d'optique à l'arc-en-ciel; mais c'est très-certainement un anthélie du même ordre que celui que j'ai décrit et expliqué.

D'autres apparences optiques analogues se manifestent en d'autres conditions. Ainsi, par exemple, si, tournant le dos au soleil, on regarde dans l'eau, on aperçoit très-bien l'ombre de sa tête, ombre très-déformée toutefois; mais on voit, en même temps, partir de cette ombre comme des faisceaux lumineux assez intenses qui dardent, en rayonnant dans tous les sens, avec une très-grande rapidité et jusqu'à une très-grande distance. Ces faisceaux lumineux, ces rayons auréolaires ont, outre le mouvement de dard, un mouvement de rotation rapide autour de l'ombre de la tête, et le sens de rotation est inverse des deux côtés de l'ombre.

Nous allons arriver maintenant à un ordre de phénomènes optiques plus curieux encore, et surtout plus compliqués que les précédents.

CHAPITRE VII.

LES HALOS.

PARHÉLIES, PARASÉLÈNES, CERCLES ENTOURANT ET TRAVERSANT LE SOLEIL. — COURONNES; COLONNES; PHÉNOMÈNES DIVERS.

Le panorama des phénomènes optiques de l'air nous amène maintenant à l'un des effets les plus singuliers et les plus compliqués de la réflexion de la Lumière dans le monde atmosphérique.

On désigne sous le nom de *halo* (ἅλως, *area*, aire) un cercle brillant qui, dans certaines conditions atmosphériques, entoure le soleil de toutes parts, à une distance de 22 et de 46 degrés; et l'on nomme *parhélies* ou *faux soleils* (παρὰ, auprès, et ἥλιος, soleil) des taches lumineuses ordinairement colorées en rouge, en jaune et en verdâtre, qui se montrent à sa droite et à sa gauche, à la même distance de 22 degrés environ, simulant une ressemblance, d'ailleurs assez grossière, avec l'astre lui-même. Les mêmes apparitions peuvent se produire autour de la lune; il est même plus facile de les y observer, la douceur tempérée de la lumière lunaire permettant d'examiner sans fatigue les zones qui l'environnent : ces taches lumineuses prennent alors le nom de *parasélènes* (παρὰ, σελήνη) ou de *fausses lunes*. Ces deux cas ne diffèrent entre eux que par l'intensité de l'astre qui leur donne naissance; c'est une différence pareille à celle que l'on peut observer entre les arcs-en-ciel ordinaires et ceux qui se produisent à la lumière de la lune.

Outre le halo et les deux parhélies, il peut encore se former sur le ciel une multitude d'autres cercles, arcs, bandes ou taches lu

mineuses, d'un éclat plus ou moins considérable et qui alors accompagnent le halo.

Tout le monde sait que, lorsqu'on présente un prisme triangulaire de verre à l'action des rayons du Soleil, une partie de la lumière incidente se réfléchit sur les faces du prisme comme sur un miroir, et qu'une autre partie pénètre dans son intérieur et en sort suivant une direction différente de sa direction primitive, en produisant une image colorée.

C'est sur ce fait que Mariotte, dont nous avons déjà parlé, a basé l'explication du phénomène qui va nous occuper.

La cause des halos, suivant lui, réside dans des filaments de neige en forme de prismes triangulaires équilatéraux. Ces prismes peuvent être orientés de toutes les manières possibles dans l'Atmosphère : parmi eux, il s'en trouve un certain nombre tournés de manière à produire le minimum absolu de déviation sur les rayons qui, pénétrant par une des trois faces latérales des prismes, sortent en traversant l'une des deux autres. Mariotte a démontré qu'à une distance angulaire du soleil égale à cette déviation minimum, qui est de 22 degrés, il doit se former un cercle brillant : c'est le halo ordinaire. Si, par suite d'une cause quelconque, tous les prismes deviennent verticaux, le halo n'a plus lieu, mais il est remplacé par les deux parhélies.

Les arcs tangents qui se voient près du halo ordinaire, le halo de 46 degrés de rayon, et le cercle parhélique, ont été expliqués par Young, sur l'hypothèse que, dans certains cas, les prismes peuvent se placer de manière que leurs axes soient horizontaux.

Il y a vingt ans, le laborieux Bravais a consacré à l'analyse de ces phénomènes un travail synthétique qui nous servira de guide ici. La théorie de ces phénomènes est assez complexe et réclame une certaine attention pour être bien comprise. Voltaire avouait qu'il lui fallait lire deux fois les mêmes choses pour les bien saisir; c'est peut-être ici le cas de l'imiter, — pour ceux d'entre nous, toutefois, qui ne se croient pas supérieurs en perspicacité au malin philosophe de Ferney.

Lorsqu'un halo se dessine sur le ciel, on aperçoit ordinairement de légers nuages, appelés cirrus (avec lesquels nous ferons bientôt connaissance), et c'est sur eux que semble se peindre le météore. Quelquefois aussi ces cirrus sont tellement fondus en une seule masse que l'œil ne peut en saisir les contours; une vapeur blanchâtre occupe le ciel principalement dans la partie qui avoisine l'astre du jour; la teinte bleue de l'Atmosphère a disparu, et se

trouve remplacée par une sorte de léger brouillard, dont l'éclat est parfois intolérable pour l'œil. Mais ces nuages filamenteux de neige disséminée dans les hauteurs de l'air sont fort éloignés de nous, de sorte qu'il était assez difficile de se prononcer sur leur véritable nature : d'où l'on voit que l'on a pu ignorer pendant longtemps le mode de production du météore, et c'est là certainement l'une des causes pour lesquelles les halos et parhélies ont été réputés autrefois des phénomènes merveilleux, signes de la colère céleste, présages de la mort des princes, etc.

Il ne suffit pas que les nuées des hautes couches de l'Atmosphère soient formées de particules neigeuses, pour que le phénomène du halo se présente; il faut encore les deux conditions suivantes. Le nuage doit avoir une épaisseur convenable; trop faible, le halo ne se produirait pas; trop grande, la lumière serait interceptée. De plus il faut que la cristallisation de l'eau se soit opérée avec lenteur, et que le vent ne l'ait pas troublée; avec une cristallisation rapide et par conséquent confuse, les aiguilles perdent leur transparence, les angles des faces la constance de leurs valeurs, les surfaces d'entrée ou de sortie leur poli. D'ailleurs, cette apparition est moins rare qu'elle le paraît. On peut estimer que, dans nos climats, le nombre des journées qui présentent le phénomène, au moins à l'état rudimentaire, est de 50 par an, et dans le nord de l'Europe ce nombre est plus considérable encore.

La forme la plus simple des cristaux de glace, de neige ou de givre, celle qui se montre dans la cristallisation commençante, est celle d'un prisme droit, ayant pour section un hexagone régulier, et terminé par deux bases perpendiculaires aux faces latérales, lesquelles sont des rectangles.

Ces formes simples se présentent cependant rarement dans les chutes de neige : cela tient à ce qu'avant d'atteindre le sol, des cristallisations latérales dues à la condensation de la vapeur dans les couches inférieures viennent se surajouter au noyau primitif.

Le prisme droit hexagonal suffit pour toutes les taches ou courbes dont l'apparition a été mise hors de doute par l'observation.

Le halo, avec tous ses aspects, s'explique en admettant que des cristaux de neige ou de glace tombent lentement dans une atmosphère calme.

Il est donc dû simplement à la réfraction des rayons solaires sur des cristallisations de glace. La disposition des prismes de glace est la cause de la diversité des apparences. On peut partager en trois cas la situation de ces aiguilles de glace dans l'Atmo-

sphère : 1° prismes à orientation indifférente; 2° prismes à axes verticaux; 3° prismes disposés horizontalement.

Pour nous rendre compte de la production des phénomènes comme nous l'avons fait pour l'arc-en-ciel, commençons par le premier cas, et voyons ses effets.

Si l'on fait tourner un prisme sur lui-même, on voit le rayon qui sort du prisme faire un angle variable avec celui qui entre dans le prisme. Mais il y a une certaine position dans laquelle le rayon qui entre et le rayon qui sort font entre eux le plus petit angle possible : c'est le minimum de déviation. Or dans cette position, on peut continuer de tourner le prisme un peu plus ou un peu moins, sans que la direction du rayon réfracté change sensiblement.

Si un prisme de ce genre tourne sur lui-même dans l'Atmosphère, il en part continuellement des rayons qui arrivent à notre œil pour disparaître immédiatement après; mais, d'après la remarque que nous venons de faire, il est évident que le rayon frappera l'œil le plus longtemps possible quand sa déviation atteindra son minimum. Si le nombre de ces prismes est très-grand, nous recevrons en même temps les rayons réfractés par un prisme au moment où ceux de l'autre disparaissent, de sorte que l'impression sur notre œil sera persistante, quoique les rayons ne lui soient pas envoyés par les mêmes cristaux.

Un rayon solaire pénètre dans un prisme triangulaire par la face A (fig. 73) et subit une déviation. Sa partie violette sort par la face B et vient atteindre l'œil de l'observateur situé en O. Un autre prisme C, placé plus près de la direction OS du soleil, en verra les rayons rouges qui sont les moins déviés, de sorte qu'en définitive le cône passant par A sera violet, le cône passant par C rouge, et la zone intermédiaire colorée des divers rayons décomposés.

La réfraction des rayons solaires produira donc tout autour de l'astre, et à la même distance, une série d'impressions lumineuses. La déviation est de 22 degrés environ, et n'est pas la même pour toutes les couleurs; le calcul, d'accord avec l'observation, donne 21° 37′ pour le rouge, qui est la couleur la moins réfrangible, 21° 48′ pour le jaune, 21° 57′ pour le vert, 22° 10′ pour le bleu, et 22° 40′ pour le violet.

Ce cercle de 22° de rayon qui se forme ainsi, autour du soleil et de la lune, est le *halo ordinaire*, qui se présente le plus fréquemment. Le rouge est en dedans ; puis on remarque l'orangé,

le jaune, le vert; mais ces nuances vont en s'affaiblissant, parce qu'elles sont lavées par l'influence des prismes qui ne sont pas dans la position de déviation maximum, et c'est le cercle intérieur rouge qui reste le plus apparent.

Comme le soleil n'est pas un simple point lumineux, mais que chacune des parties de son disque concourt à la production du phénomène, cette circonstance contribue à mêler encore plus entre elles les diverses couleurs; aussi ne sont-elles jamais bien nettes, et le plus souvent le halo se présente sous la forme d'un anneau brillant, offrant une teinte rousse sur son côté interne, de 2 à 3

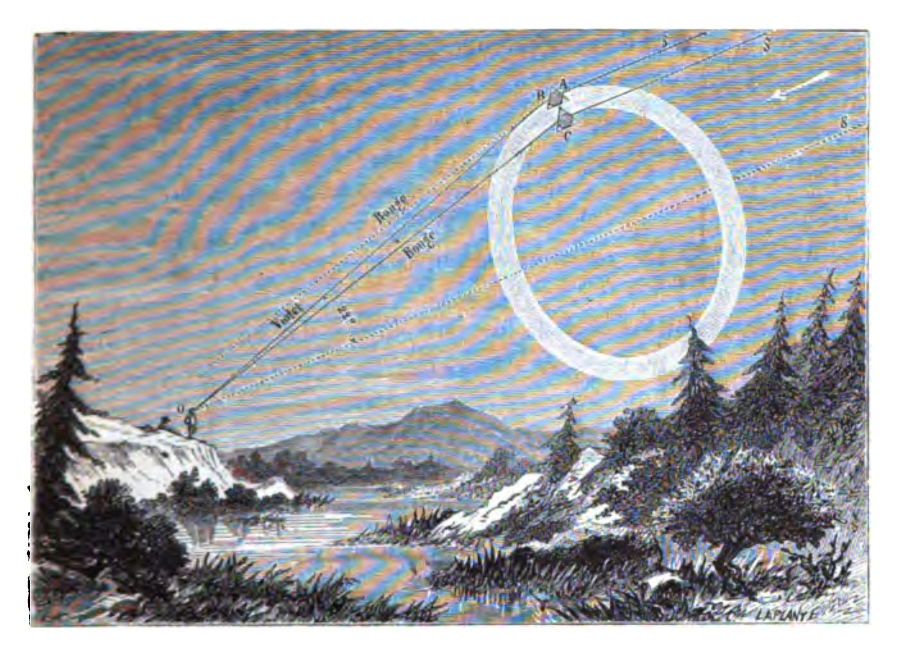


Fig. 73. — Théorie du halo.

degrés de largeur, entourant de toutes parts une aire circulaire obscure, dont le soleil occupe le centre.

Par un effet d'optique bien connu, un spectateur non prévenu d'avance attribuera volontiers au halo une forme elliptique, en ovale allongé et à grand axe vertical; mais cette illusion, que fait naître aussi l'arc-en-ciel lorsqu'on le voit complet, disparaît devant des mesures angulaires. C'est par suite d'une cause pareille que le halo paraît se rétrécir à mesure que l'astre s'élève, de même que la lune perd à une certaine hauteur les proportions gigantesques qu'offrait son disque au moment du lever.

Outre le halo de 22 degrés de rayon, on en observe aussi un

second dont le diamètre paraît sensiblement égaler deux fois celui du précédent.

Celui-ci est produit par la réfraction de la lumière à travers les angles dièdres de 90 degrés que les faces latérales des prismes font avec les bases, de la même manière que les angles de 60 degrés produisent le halo ordinaire. Comme ce dernier, il se compose d'anneaux successifs, dont le premier est rouge: c'est le plus rapproché du soleil. Mais, par suite d'une superposition de couleurs pareille à celle qui se produit dans le halo de 22 degrés, on ne voit guère qu'un anneau rougeâtre sur son côté interne et jaunâtre au milieu, tandis que le côté externe paraît blanchâtre et va en se fondant d'une manière vague avec l'illumination générale de l'Atmosphère. La largeur totale de ce halo est assez considérable; elle embrasse environ 3 degrés, entre 45 et 48 degrés de distance du soleil, en y comprenant la lumière blanche extérieure qui le borde.

Ces deux cercles sont donc formés par la réflexion de la lumière sur les prismes de glace orientés dans tous les sens. Voyons maintenant ce que peuvent produire les prismes placés verticalement.

Lorsque la réflexion de la lumière s'opère dans les angles dièdres de 60 degrés, que forment entre elles les six faces des prismes de glace tombant verticalement, il y a production de deux *parhélies*, l'un à droite, l'autre à gauche du soleil, et situés tous deux à la même hauteur que l'astre éclairant. Pour se rendre compte de ce fait, il faut d'abord poser en principe que l'illumination produite par un groupe de prismes à axes verticaux, mais tournés d'ailleurs de toutes les manières possibles quant à l'orientation de leurs faces latérales, est pareille à celle que donnerait un prisme unique tournant rapidement autour de son axe. On voit en effet que, dans ce mouvement, le prisme passe successivement par toutes les positions compatibles avec la verticalité de l'axe.

Lorsque le soleil est à l'horizon, la distance à laquelle ces images se forment est précisément l'angle de déviation minimum, en d'autres termes, le rayon du halo; si celui-ci et les parhélies se montrent à la fois, ces derniers paraissent situés précisément sur la circonférence du halo, et y occupent une étendue en hauteur égale au diamètre du soleil. Les diverses teintes sont ici plus pures que dans le halo: le jaune est bien distinct, et même le vert; quant au bleu, il est très lavé et à peine visible; le violet, recouvert par les couleurs précédentes, est trop pâle pour être aperçu; le tout se termine par une queue de lumière blanche,

quelquefois peu apparente, mais pouvant atteindre une longueur de 10 à 20 degrés, et dirigée à l'opposite du soleil parallèlement à l'horizon: cette dernière lumière est due aux prismes dont la position s'écarte considérablement de celle qui correspond à la déviation minimum.

Lorsque le soleil s'élève au-dessus de l'horizon, les rayons lumineux traversent les prismes, en se mouvant suivant des plans obliques, et la plus petite des déviations qui se produisent pendant la rotation est supérieure au minimum absolu correspondant au cas du soleil horizontal : d'où l'on voit que les parhélies doivent se dégager lentement de la circonférence du halo, à



Fig. 74. — Halo observé en Norvége.

mesure que la hauteur s'accroît; mais d'autre part, comme le halo a une largeur assez considérable et de près de 2 degrés (la lumière blanche qui le borde à l'extérieur y étant comprise), les parhélies n'en sont complétement séparés que lorsque le soleil a atteint une élévation de 25 à 30 degrés.

On démontre par le calcul que la formation des parhélies est impossible dès que la hauteur du soleil atteint 60 degrés.

Les parhélies sont quelquefois extrêmement brillants, et leur éclat peut alors jusqu'à un certain point être comparé à celui du soleil lui-même; on comprend dès lors que chaque parhélie puisse devenir à son tour l'origine de deux autres, qui seront des parhélies de parhélies, ou des *parhélies secondaires.*

L'effet produit par la réfraction de la lumière dans les angles de

90 degrés, qui donnent le grand halo, est plus remarquable encore. Les rayons solaires, arrivant obliquement sur la base supérieure du prisme, pénètrent dans son intérieur et sortent par l'une de ses faces verticales.

Si l'on imagine, comme nous l'avons déjà fait pour les parhélies, que le prisme ainsi frappé des rayons solaires sur sa base supérieure vienne à tourner rapidement autour de son axe, on peut démontrer par le calcul que la lumière émergente se développera suivant une portion de cône droit à axe vertical; d'où il est ensuite facile de conclure que le phénomène optique correspondant sur la sphère céleste, sera un arc lumineux parallèle à l'horizon, et situé à une grande élévation au-dessus du soleil.

L'arc qui se produit ainsi et que l'on peut appeler *arc tangent supérieur du halo de 46 degrés*, ou plus brièvement *arc circumzénithal*, mérite une mention particulière; car c'est sans contredit la plus remarquable de toutes les apparitions qui peuvent accompagner le halo; la vivacité de ses teintes, la distinction de ses couleurs, la netteté avec laquelle ses bords, ainsi que ses limites extrêmes, se détachent sur le ciel, en font un véritable arc-en-ciel. Des anneaux successifs qui le composent, celui de teinte rouge est le plus rapproché du soleil; le violet est sur la partie concave de l'arc et du côté opposé; la largeur des divers anneaux est à peu près la même que dans l'arc-en-ciel, et un peu moindre par suite d'une illusion qui tient à la proximité du zénith.

Lorsque le halo de 46 degrés se dessine sur le ciel, l'arc circumzénithal paraît ordinairement le toucher à son point le plus élevé, le rouge de l'arc étant là en contact avec le rouge du halo, l'orangé avec l'orangé, et ainsi de suite pour les autres couleurs; mais très-souvent l'arc circumzénithal se montre sans le halo de 46 degrés, de même que les parhélies peuvent paraître sans le halo de 22 degrés, quoique la même espèce d'angles dièdres leur donne naissance.

Il résulte de l'ensemble des observations faites sur cet arc qu'il ne se montre jamais dès que la hauteur du soleil est inférieure à 12 degrés, ou supérieure à 31 degrés.

On calcule encore que les prismes en tombant et tournant dans la verticale, peuvent réfléchir le soleil en dessinant sur la sphère céleste une bande lumineuse horizontale, faisant le tour complet de l'horizon, et passant par le centre même du soleil. Comme la réflexion spéculaire ne sépare pas les couleurs qui composent la lumière blanche, ce cercle devra paraître complétement blanc,

et sa largeur apparente sera égale au diamètre du soleil. Telle est l'origine du cercle blanchâtre que l'on désigne sous le nom de *cercle parhélique*. C'est sur sa circonférence que se montrent toujours les parhélies ordinaires, ainsi que les parhélies secondaires situés à environ 45 degrés du soleil : de là sa dénomination.

Quelquefois les rayons solaires éprouvent deux réflexions successives sur les faces verticales de l'un de nos prismes. On voit alors à 120 degrés du soleil une image blanche plus ou moins diffuse qui a reçu le nom de *paranthélie*.

Les bases horizontales des cristaux de glace réfléchissent aussi la lumière solaire, mais en renvoyant ses rayons vers le haut, dans

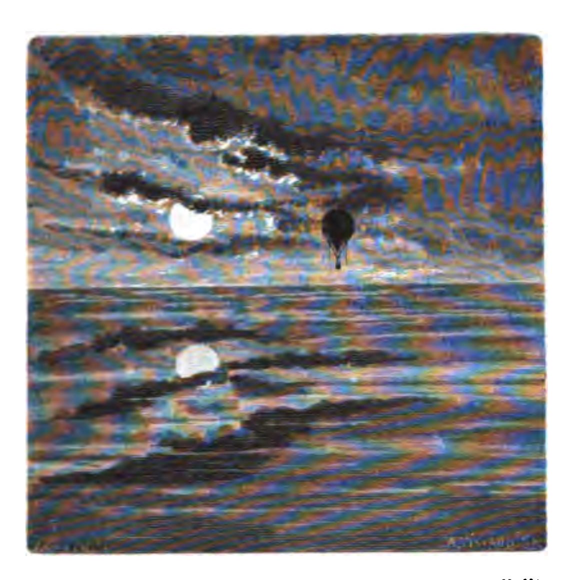


Fig. 75. — Le Soleil réfléchi par les nuages, ou pseudhélie.

une direction qui ne permet pas à l'observateur de les recevoir. Il faudrait pour cela que celui-ci fût placé au sommet d'une montagne escarpée, ou dans la nacelle d'un aérostat, et que de là il dominât le nuage à particules glacees. On accordera sans peine que ces conditions doivent se trouver bien rarement réunies. Elles se sont réalisées pour MM. Barral et Bixio le 27 juillet 1850. L'image du soleil ainsi réfléchie paraissait presque aussi lumineuse que le soleil lui-même (fig. 75). Bravais a proposé de désigner ce remarquable et si rare phénomène sous le nom de *pseudhélie*.

Enfin, ajoutons que les prismes de glace disposés *horizontalement* dans l'Atmosphère donnent naissance, par des réflexions et

réfractions analogues aux précédentes, aux arcs tangents qui se montrent souvent de chaque côté du halo.

Puisque ce complexe phénomène optique n'est dû qu'aux jeux de la lumière du soleil (ou de la lune) sur les particules glacées des nuées atmosphériques, il est évident que sa disposition générale varie suivant la hauteur de l'astre au-dessus de l'horizon. Quatre positions surtout sont très-distinctes, et nous donneront l'image théorique de tous les halos possibles. Voici, d'après Bravais, ces quatre halos (fig. 76) : le premier, après le lever du soleil (13 degrés); le second, à une plus grande hauteur (25 degrés); le troisième à 49 degrés, et le quatrième à 61 degrés. Dans ces figures explicatives, S représente la place du soleil; Z le zénith; *hh* le halo ordinaire ou de 22 degrés; HH le grand halo ou de 46 degrés; PP les parhélies; *aa* l'arc circumzénithal tangent supérieurement au halo de 46 degrés; S*pp* le cercle parhélique horizontal; *pp* les paranthélies; *c*S*c'* (dans la première figure) la colonne verticale à l'horizon; *bb* (dans la quatrième) l'arc circumhorizontal tangent inférieurement au halo de 46 degrés; *tt* l'arc tangent supérieur du halo de 22 degrés; *t't'* l'arc tangent inférieur du halo de 22 degrés; *tt t't'* un halo circonscrit formé par la réunion des deux arcs tangents supérieur et inférieur; *ll* des arcs tangents latéraux du halo de 46 degrés; enfin A un anthélie.

Le trait plein représente les parties du météore provenant des prismes à axes de direction indéterminée. Le trait ponctué, ainsi que la croix, indiquent celles qui sont produites par les prismes à axes verticaux. Enfin, le trait discontinu, avec l'étoile à six branches, se rapporte à celles qui sont dues aux prismes dont les axes sont horizontaux.

Le grand halo caractéristique que nous représentons ici en peinture est le plus complet que l'on ait encore observé. C'est celui que Lowitz a étudié à Saint-Pétersbourg, le 29 juin 1790, de 7 heures 30 m. du matin à midi 30 m. Il y a eu naturellement depuis cette époque un grand nombre d'observations, mais celui-ci est encore celui qui s'est manifesté en offrant à la fois tous ses caractères. Celui que MM. Bravais et Martins observèrent à Pitéo, en Suède, le 4 octobre 1839, était également très-remarquable, mais cependant moins complet.

En projection, on analyse mieux ce curieux phénomène; on y voit d'abord (fig. 77) : 1° le halo de 22 degrés de diamètre *hhhh* autour du soleil S. En place de ce cercle, Lowitz en a vu deux qui se coupaient en haut et en bas; en Norvége on en a vu trois;

Hachette & Cie



A. Marie pinxt

Eug. Cicéri, Chromolith

HALO.

Imp. Lemercier & Cie Paris

2° Le cercle de 47 degrés, HHH, offrant des couleurs plus tranchées que le premier et large du double;

3° Le cercle *horizontal* SPHpApHP passant par le soleil et faisant le tour de l'horizon;

4° Deux parhélies P et P au point d'intersection du halo de 22 degrés et du cercle horizontal, leur côté rouge tourné vers le soleil et présentant des prolongements en queue de comète;

5° Trois pseudhélies App situés derrière l'observateur, sur le cercle horizontal;

6° Accroissement de vivacité des couleurs au point culminant

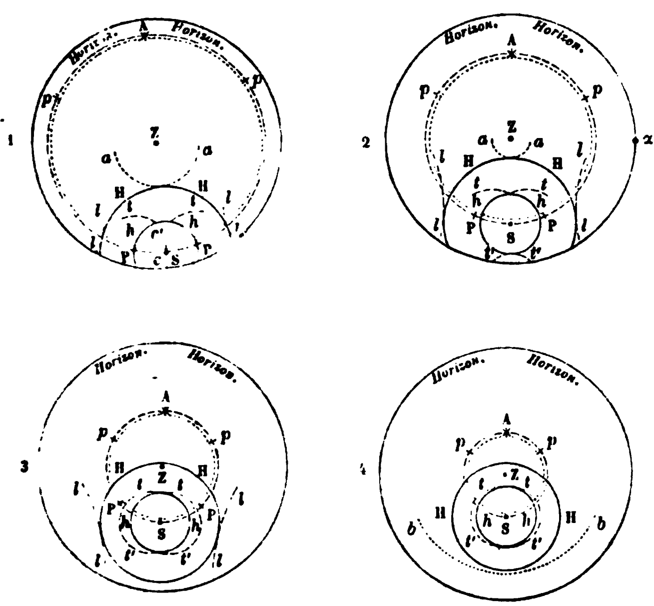


Fig. 76. — Différents aspects du halo suivant la hauteur du soleil.

d du halo de 22 degrés : l'œil avait de la peine à les soutenir;

7° Au point culminant *a* du grand cercle vertical, l'arc *a* convexe vers le soleil très-vivement colorié.

8° Deux cercles *ll* tangents au grand cercle vertical; leur largeur et leur coloration étaient celles de l'arc-en-ciel.

Le halo que nous venons de représenter est, disons-nous, le plus complet qui ait été décrit. Mais le halo ordinaire n'est pas très-rare, même dans nos climats relativement méridionaux. En France, on voit par an une cinquantaine de cercles solaires ou lunaires de cet ordre, la plupart du temps pâles et incolores. Quelques apparitions plus brillantes méritent d'être signalées.

On observe depuis 1833 à l'Observatoire de Bruxelles les divers phénomènes optiques de l'Atmosphère. Le plus curieux des halos observés est celui qui se montra dans toute la Belgique le 28 décembre 1840.

Vers 9 heures du matin, ce halo s'était formé autour du soleil; il était très-bien marqué et bordé de couleurs. Sa partie inférieure était cachée par les maisons; à l'extrémité centrale du diamètre horizontal apparaissait un parhélie blanc, peu intense et aplati dans le sens vertical. Un arc tournant sa convexité au soleil et tangent à la circonférence du halo, passait par l'extrémité supérieure du diamètre vertical. Cet arc, qui avait plutôt une forme parabolique que circulaire, était d'un blanc plus vif et plus brillant que le parhélie, surtout à son intersection avec le halo. Vers 10 heures il s'était formé un second parhélie, plus faible que le premier, à l'extrémité opposée du diamètre horizontal.

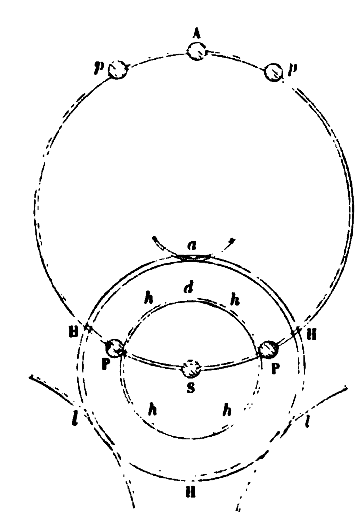


Fig. 77. — Projection du halo observé en Russie.

A 10 heures 30 minutes le parhélie occidental et la plus grande partie du halo située de ce côté s'étaient effacés; et, du côté oriental, il ne restait plus qu'une légère trace du parhélie; mais l'arc tangent au halo et sa partie supérieure, qui formaient ensemble deux arcs égaux en contact par leurs extrémités, étaient devenus beaucoup plus intenses. Ensuite ces deux arcs se sont effacés insensiblement, et le parhélie occidental a reparu. A midi, il ne restait plus aucune trace du halo; mais on voyait encore de chaque côté du soleil deux taches blanchâtres très-allongées dans le sens horizontal, et qui occupaient la place des parhélies. Vers 1 heure, le phénomène entier avait disparu.

On a observé aux environs de Gênes, le 15 septembre 1851, un parhélie magnifique donnant à la fois quatre images du soleil; la photographie a reproduit ce lumineux météore. Les habitants de la campagne en ont éprouvé une vive frayeur; ils ont pensé que le soleil se multipliait pour embraser la terre.

J'ai observé, à Paris, un halo lunaire d'un éclat remarquable, le 12 mai 1870, vers 10 heures du soir, la lune étant au méridien. C'était le grand cercle de 46 degrés, mais on n'y distinguait

pas de couleurs, et il n'y avait pas non plus de parasélènes. L'apparition dura jusqu'à 11 heures. Le ciel était pur, aucun nuage apparent ne s'y montrait, seulement les étoiles étaient peu brillantes, et lors même que la production du halo n'aurait pas démontré l'existence d'une couche de vapeurs étendue dans l'Atmosphère, ce voile eût été rendu sensible par l'opacité relative de l'air. Le lendemain, une pluie fine tomba à Paris et le ciel resta pluvieux pendant quelques jours.

Le 23 juin 1870, on a également vu en Angleterre un halo solaire d'une forme rare, et des parhélies dignes d'attention. Voici le dessin qui en a été pris à Nottingham à 7 heures 36 minutes du soir.

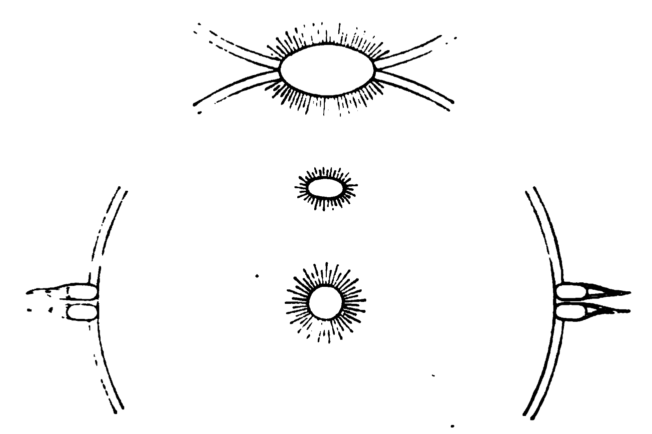


Fig. 78. — Parhélies observés en Angleterre le 23 juin 1870.

Au-dessus du soleil, à la distance de 22°, apparaissait une fausse image ovale sans couleur et peu brillante. A la distance de 46° et à la même hauteur que le soleil au-dessus de l'horizon, on voyait deux doubles faux soleils présentant les couleurs prismatiques et très-brillants. Ils étaient ovales, et de chacun d'eux s'échappait une sorte de flamme opposée à la direction du soleil. Au sommet du grand cercle, on voyait en outre un immense parhélie très-coloré et d'un éclat difficile à soutenir. Les fractions du cercle se montraient comme on le voit sur la figure. Le phénomène dura 20 minutes.

Je compléterai ces exemples par un choix des principales observations faites sur ce complexe effet d'optique, choix que j'extrais des annales météorologiques de ces dernières années.

Un très-beau halo circumsolaire s'est montré à Paris dans la matinée du 22 avril 1845 ; il a été observé avec soin par Bravais.

Le phénomène se composait : 1° d'un halo ordinaire (de 22 degrés) de lueur pâle ; le rayon de ce cercle, compté du centre du Soleil jusqu'au bord interne de la lueur, a été trouvé égal à 21° 46′, par la moyenne de deux mesures prises avec un sextant ; 2° de deux arcs très-lumineux tangents au halo ordinaire, l'un dans son point de culmination supérieure, l'autre dans son point de culmination inférieure.

Les couleurs aperçues dans ces arcs lumineux étaient du dedans au dehors, le rouge (avec une teinte fauve très-marquée), le jaune, le vert, un bleuâtre très-faible et difficile à distinguer, enfin de la lumière blanche sans limite extérieure assignable. L'arc tangent supérieur se séparait du halo ordinaire à une certaine distance de chaque côté du point de tangence, et ses deux branches, se rabattant vers l'horizon, venaient se raccorder avec les branches correspondantes de l'arc tangent inférieur ; l'ensemble des deux arcs tangents formait ainsi une ellipse circonscrite au halo ordinaire, à petit axe vertical, et dont le grand axe était sensiblement horizontal.

Le 19 avril 1849, M. Plantamour a observé à Genève un halo solaire, de 3 heures 5 minutes à 3 heures 30 minutes. A 3 heures 15 minutes, le Soleil était à une hauteur de 38° 3′ au-dessus de l'horizon ; il était entouré d'un anneau coloré correspondant au halo ordinaire, et dont les couleurs étaient très-vives. On apercevait sur les côtés deux segments d'un second halo concentrique, dont le rayon était à peu près double de celui du premier, mais qui était beaucoup moins brillant. Dans la partie supérieure et inférieure du second halo, on voyait deux arcs colorés tangents, très-brillants aux points de tangence, et se terminant en pointe. Le cercle parhélique était d'un blanc éclatant et se voyait très-distinctement tout autour de l'horizon, sauf dans le voisinage immédiat du Soleil. Sur ce cercle se trouvaient quatre parhélies, dont deux blancs et deux colorés. Dans ces derniers, le rouge dominait presque exclusivement ; une légère teinte bleuâtre était sensible dans la partie opposée au Soleil.

Le 24 février 1850, à 4 heures du matin, et jusqu'au coucher de la Lune, M. Renou a étudié un halo complet, avec deux parasélènes brillants, à longs prolongements horizontaux, et portant en haut une échancrure très-brillante. Ce qu'il y avait de plus remarquable, c'était une croix droite, à quatre bras égaux de 6 à 7 degrés de longueur, dont le centre coïncidait avec celui de la Lune ; la largeur de ces bandes, égale à celle de la Lune, diminuait un peu aux extrémités ; cette croix avait une lumière plus faible que celle du halo. A 10 heures du matin, apparurent deux parhélies nets et brillants, avec des queues blanches de plusieurs degrés ; il n'y avait pas de traces de halo, ni même de cirrus ; le ciel était magnifique.

Le 21 février 1864, à 9 heures du matin, le même météorologiste a observé à Choisy un halo composé du cercle de 22° complet, des deux parhélies, d'un fragment du cercle de 45° et de l'arc circumzénithal. La température était à — 3° 8, le vent N. assez fort, et le ciel occupé par des cirro-stratus. Le soir à 9 heures, le halo a été remarqué autour de la Lune avec les deux parasélènes. Ce phénomène a été vu sur une grande étendue. On l'a décrit à Paris, à Chartres, à Tours, à Vendôme. A Chartres, on a vu les deux parantisélènes opposés aux parasélènes.

Le même phénomène a été observé à Orgères par mon excellent ami le docteur Lescarbault. Le cercle parhélique, ou, pour mieux dire, parasélénique, puisque c'était au clair de lune, a été dessiné, ainsi que les deux parasélènes avec leurs queues, un arc tangent à la partie supérieure du halo, et un autre à la partie inférieure.

Le 30 août 1866, M. C. Decharme a observé à Angers un grand halo solaire (au rayon de 46 degrés) présentant deux particularités curieuses.

Voici d'abord la forme générale du phénomène lumineux. L'arc visible était simple et avait les deux tiers d'une circonférence, commençant brusquement vers l'O., à 25 degrés environ au-dessus de la projection, sur le plan du halo, d'une

droite horizontale passant par le centre apparent du Soleil, et finissant, par conséquent, vers l'E., à 85 degrés environ au-dessous de cette même droite. Cette couronne, de 4 à 5 degrés d'épaisseur, était d'un blanc très-brillant, à bords assez nettement accusés, surtout à l'extérieur (c'est souvent le contraire qui a lieu, la limite du bord extérieur est difficilement assignable). Elle n'était accompagnée d'aucune nuance irisée.

Le soleil, fort difficile à distinguer nettement alors et même à regarder, ne présentait plus qu'une forme indécise, une tache blanche elliptique irrégulière, dont le grand axe était horizontal et très-allongé, ce qui annonçait une tendance à la formation d'un cercle parhélique. Le ciel, nébuleux dans le voisinage du soleil, était clair à l'est, quoique légèrement voilé par des vapeurs blanchâtres et parsemé de cirri et de cirro-strati légers qui formaient le fond général homogène, le *substratum* sur lequel se détachait le brillant météore. Mais à la partie supérieure occidentale, où la couronne était interrompue, se trouvait un segment obscur formé par un grand strato-nimbus, s'étendant très-loin à l'O., surmonté de cumuli nombreux, de plus en plus déliés et vaporeux en allant vers le zénith.

On ne voyait pas de nuances irisées près des bords du halo ; toutefois l'entre-couronne, c'est-à-dire l'espace compris entre le halo et le Soleil, était d'une teinte particulière, généralement d'un bleu mat très-pâle, tirant sur le violet et le rougeâtre vers la couronne, nuances légères et fugitives.

Les deux particularités suivantes sont curieuses.

D'abord la couronne blanche, eu égard à une légère dégradation de teinte vers ses bords (surtout vers le bord intérieur), avait plutôt l'aspect d'un *anneau*, d'un *tore*, que celui d'une figure plane. De plus, dans les deux dernières minutes d'observation, ce tore a paru animé d'un faible mouvement d'*enroulement* sur lui-même *de dedans en dehors*. L'observateur était en chemin de fer. Ensuite, on voyait des *prolongements de rayons blancs*, ayant visiblement pour centre la position apparente du soleil, tous extérieurs à la couronne et formant autour d'elle une espèce de *gloire*, très-prononcée dans la région supérieure du halo. Ces rayons divergents, larges à leur naissance comme le quart de l'épaisseur de la couronne, presque aussi blancs qu'elle, laissant entre eux des intervalles à peu près égaux et deux ou trois fois plus grands que l'épaisseur de la couronne, s'allongeaient sur un fond vaporeux à teinte uniforme, jusqu'à une distance égale aux deux tiers du rayon de la couronne, et allaient en diminuant d'éclat et de largeur.

La journée du 30 a été relativement plus chaude (22 degrés) que la précédente et que la suivante. Pendant la nuit du 30 au 31 et dans la matinée du 31, il a plu assez abondamment, comme il arrive ordinairement après l'apparition d'un grand halo.

M. Decharme a constaté à Angers que les halos et couronnes observés dans l'espace d'une année sont assez nombreux et peuvent être partagés en trois groupes, savoir :

1° *Grands halos*, au rayon de 46 degrés, dits halos extraordinaires, assez rares dans nos climats ;

2° *Petits halos*, au rayon de 22 à 23 degrés, ou halos ordinaires, fréquents dans nos contrées ;

3° *Couronnes* solaires ou lunaires, au rayon variable, ordinairement blanches ou peu irisées et dont les couleurs sont disposées en sens inverse de celles des halos, le rouge étant ici en dehors et le bleu en dedans.

Du 30 août 1866 au 30 août 1867, on a observé à Angers : deux grands halos au rayon de 46 degrés ; vingt-sept halos ordinaires au rayon de 23 degrés ; quatre couronnes solaires ou lunaires ; en somme, trente-trois météores.

En général, il y en a donc plusieurs de visibles par mois. Ils annoncent souvent la pluie : nous en reparlerons à ce point de vue au chapitre sur *les Pronostics*, dans la dernière partie de cet ouvrage, consacrée à la Prévision du Temps. Ici nous ne nous occupons que des manifestations de la Lumière, considérées en elles-mêmes.

Parmi les derniers halos remarquables que j'ai observés à Paris, j'ajouterai celui du 3 novembre 1870, à 7 heures du soir, à 23 degrés autour de la Lune, par un ciel calme et presque pur; et celui du 26 mars 1871, après une chaude journée, également autour de la Lune, et dans un ciel de cirrus orientés remarquablement du sud au nord.

L'étude que nous venons de faire du phénomène général des halos nous amène à parler maintenant d'autres effets optiques dont l'explication se rapproche plus ou moins des précédentes.

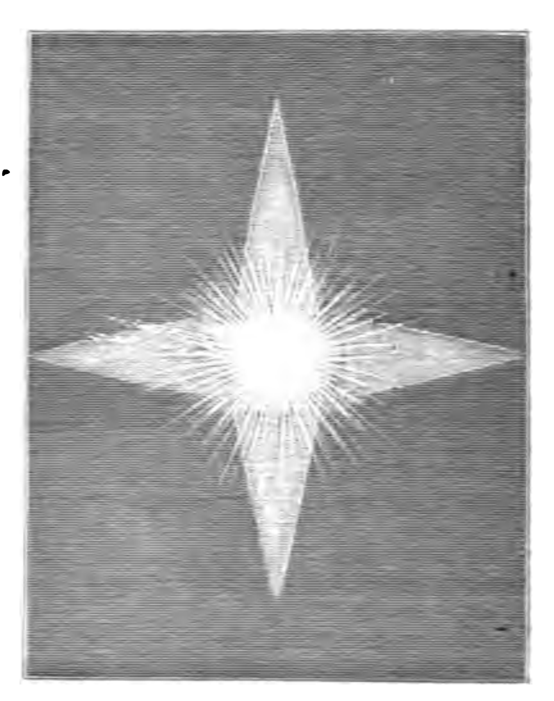


Fig. 79. — Croix formée dans l'atmosphère par la réflexion.

Les *colonnes* de lumière blanche, les *croix*, les divers aspects lumineux qui se montrent parfois au lever et au coucher du soleil, sont dus à la réflexion de la lumière sur une nappe de cristaux d'eau glacée située dans les hauteurs de l'Atmosphère. Tout le monde sait que, lorsqu'on regarde l'image d'un luminaire (le soleil, la lune, un réverbère) se formant obliquement sur une nappe d'eau légèrement agitée, l'image s'étend beaucoup dans le sens de la verticale : la mobilité de l'eau donne naissance à une multitude de petites faces planes, dont les normales se balancent sans cesse autour de la verticale, dans toutes les directions possibles. C'est l'exacte reproduction de ce qui se passe dans la région du

nuage glacé; les petites bases miroitantes de nos prismes, auxquelles nous avons attribué plus haut l'image réfléchie du soleil observée en ballon, s'inclinent sans cesse en des sens divers; l'image produite sera donc aussi très-allongée, et sa partie supérieure pourra, au lever ou au coucher du soleil, s'élever de plusieurs degrés au-dessus de l'horizon.

Telle est l'origine de ces colonnes de lumière blanche que l'on voit quelquefois se former au moment du coucher du soleil, et grandir à mesure que l'astre s'abaisse de plus en plus. Il est à



Fig. 80. — Phénomène atmosphérique dû à la réflexion.

peine nécessaire d'ajouter que, lorsque le soleil est descendu au-dessous de l'horizon, la réflexion de sa lumière s'opère sur les bases inférieures des prismes, et non sur les supérieures.

Le 22 avril 1847, avant le coucher du soleil, on a observé à Paris quatre colonnes lumineuses d'une étendue d'environ 15 degrés chacune, donnant l'apparence d'une croix dont le soleil occupait le centre. Après le coucher du soleil, une des quatre colonnes, bien entendu la supérieure, persista encore quelque temps.

Leur base est quelquefois assez large pour leur donner des

formes bizarres. Ainsi, en 1816, mon ami regretté Coulvier-Gravier se trouvant près de Festieux, à 2 lieues de Laon, entendit les habitants de ce pays, qui regardaient le lever du soleil (on était au mois de septembre), trouver qu'au lieu d'une colonne le phénomène représentait tout à fait un tricorne (fig. 80). Ces braves gens ajoutaient même à ce propos dans leur simplicité : « Vous voyez bien que Napoléon reviendra, puisque le soleil nous montre son chapeau. »

Lorsque le soleil est près de l'horizon, une portion du cercle vertical peut s'élever au-dessus de l'astre sous la forme d'une colonne. Le 8 juin 1824, on vit des apparences de ce genre dans plusieurs parties de l'Allemagne. A Dohna, près de Dresde, à 8 heures du soir, au moment où le soleil venait de disparaître derrière les montagnes, Lohrmann vit une bande lumineuse perpendiculaire à l'arc crépusculaire et semblable à la queue d'une comète; cette colonne avait 30 degrés de haut et 1 degré de large. Il est plus rare de voir une bande au-dessous du soleil ou de la lune, plus rarement encore un arc horizontal passe par le soleil de manière que cet axe se trouve au milieu d'une croix. Roth a vu ce phénomène d'une manière très-nette le 2 janvier 1586 à Cassel. Avant que le soleil parût, une colonne lumineuse verticale, d'un diamètre égal à celui de l'astre, brillait à l'endroit où il devait se lever; elle ressemblait à une flamme brillante, seulement son éclat était uniforme dans toute sa hauteur. Bientôt on vit apparaître une image du soleil tellement brillante, qu'on la prit pour le soleil lui-même; à peine ce parhélie eut-il quitté l'horizon, que le soleil se leva immédiatement au-dessous suivi d'une répétition de la colonne supérieure. Cette colonne avec ses trois soleils resta toujours verticale ; les trois soleils étaient parfaitement semblables, seulement le véritable avait plus d'éclat. Le phénomène dura environ une heure.

Si le soleil, au lieu d'être à l'horizon, est à quelques degrés audessus de son plan, la colonne lumineuse qui s'élève du pseudhélie, alors situé au-dessous de ce plan et par conséquent invisible, peut atteindre le centre de l'astre, sans le dépasser sensiblement. On a alors l'apparence d'une colonne lumineuse ascendante, qui semble supporter le disque solaire à sa partie supérieure : l'observation faite par Parry à l'île Melville le 8 mars 1820, celle faite par Sturm le 9 décembre 1689, etc., en offrent des exemples.

Les lueurs verticales qui, passant par le centre de l'astre éclairant, s'étendent symétriquement au-dessus et au-dessous de lui,

sans tenir à l'horizon par leur base, et qui accompagnent l'astre pendant son cours apparent d'orient en occident, paraissent dues à la même cause. Il est facile de voir qu'elles sont engendrées par les rayons deux fois réfléchis sur les bases horizontales des prismes verticaux; plus généralement, elles sont dues à un nombre pair de réflexions successives. Elles ne se montrent jamais que pour des hauteurs inférieures à 25 degrés; elles sont aussi notablement plus fréquentes autour de la lune qu'autour du soleil : ceci est causé, sans nul doute, par la vive clarté de ce dernier astre qui



Fig. 81. — Couronne formée autour de la lune par la diffraction.

masque toutes les lueurs avoisinantes. L'inverse a lieu pour les colonnes qui se montrent au moment du coucher, parce que le soleil étant alors sous l'horizon, le météore se projette sur un fond incomplétement éclairé et peut paraître dans tout son éclat.

La combinaison du cercle parhélique avec la strie verticale passant par le centre de l'astre, donne le phénomène des croix solaires ou lunaires, que l'on aperçoit souvent sans que le halo de 22 degrés soit visible. Il peut arriver que les bras de la croix soient sensiblement égaux, mais souvent aussi la longueur des branches

horizontales est plus considérable que celle des branches verticales.

Les colonnes verticales, les croix lunaires ou solaires se voient surtout dans les contrées boréales, pendant les longs hivers qui enveloppent ces régions de neiges et de frimas.

A ces effets d'optique, ajoutons, en terminant ce chapitre, les *couronnes* (fig. 81) qui apparaissent autour du soleil et de la lune lorsque l'air n'est pas pur, et que des gouttelettes de vapeur vésiculaire ou des nuages légers viennent à passer devant ces astres.

Ces anneaux, que l'on observe fréquemment autour de la lune, et que dans le vulgaire on désigne improprement sous le nom d'arcs-en-ciel lunaires et de halos, ne sont que des couronnes, et ne doivent pas leur origine à la réfraction, mais bien à la diffraction; ils ont le rouge en dehors et le violet en dedans comme le premier arc-en-ciel, et leurs couleurs sont inverses de celles des deux halos concentriques aux astres. Les diamètres des couronnes de même couleur suivent la série des nombres 1, 2, 3, 4......; le diamètre du premier anneau semble agrandi. Ce diamètre, qui varie de 1 à 4 degrés, dépend d'ailleurs de celui des vésicules d'eau interposées entre l'astre éclairant et l'observateur. En général, il est bleu mêlé de blanc depuis l'astre jusqu'à une certaine distance; puis vient un cercle rouge et ensuite d'autres cercles colorés, disposés comme dans les anneaux de Newton. Il est nécessaire, pour que le phénomène ait lieu, qu'il y ait un certain nombre de globules de même diamètre, et même un beaucoup plus grand nombre de ce diamètre que de tout autre. Si les diamètres des sphérules des nuages étaient tous différents, la couronne ne se produirait pas.

On observe un effet absolument semblable lorsqu'on examine un objet lumineux à travers une lame de verre sur laquelle on a répandu du lycopode, ou bien à un degré moins marqué, lorsque avec l'haleine on a simplement recouvert cette lame d'une légère couche d'humidité.

Voici un autre phénomène singulier observé après le coucher du soleil, le 9 juillet 1853, par M. Antoine d'Abbadie, à Urrugne. J'extrais du récit de l'observateur les points qui nous intéressent ici.

Le mardi 9 juillet, M. Goetse, astronome allemand, qui demeurait avec moi, me fit remarquer le phénomène insolite d'un grand nombre de points rouges dans les nuages et peu au-dessus de l'horizon naturel. Nous étions ici dans un cabinet à 3 mètres 50 au-dessus du sol et à une altitude de 42 mètres au-dessus de l'Océan. Le ciel était entièrement couvert, mais une lueur vague éclairait l'horizon. Il était alors 8 heures 25 minutes de temps moyen. Ce qui était surtout remar-

quable, c'est que ces disques rouges offraient l'apparence d'autant de soleils bien ronds, ils étaient disposés à peu près parallèlement à l'horizon de l'Océan, et bien nettement espacés sur une étendue considérable. Dans le premier moment j'en comptai dix-sept assez également distants les uns des autres, et deux tout à fait détachés dans la partie du sud. Je voulus faire un croquis du phénomène; mais quand je fus en mesure de dessiner, il avait changé d'aspect. La plupart des disques ronds étaient devenus irrégulièrement angulaires, et deux d'entre eux avaient disparu doucement. En commençant à se déformer, ils jetaient vers l'horizon comme une cascade de flammes pareilles à ces *gloires* qui, s'échappant des nuages au coucher du soleil, ont été souvent reproduites par les peintres.

Bien que le météore changeât à tout moment, il était important de faire quelques observations précises qui pussent servir de base à une théorie de ce rare phénomène. Nous descendîmes dans la prairie attenante, et, après y avoir placé à distance et comme signal une lampe allumée, je pris au moyen d'un sextant des angles qui furent orientés le lendemain avec un théodolite.

Les divers disques perdirent ensuite leur éclat peu à peu, se résolvant le plus souvent en de longues lueurs horizontales. Les dernières lueurs s'éteignirent à $8^h,50^m$. Peu à peu un petit disque bien brillant apparut, s'effaça lentement et disparut à $8^h,52^m$. Quatre nouveaux disques apparurent à $8^h,55^m$; peu après, l'un des anciens disques disparut, et il s'en forma encore un du côté du sud. Le disque extrême du côté du nord grandit alors en diamètre, et sa hauteur apparente s'accrut jusqu'à 55′, quantité que je dus estimer de vue, car l'horizon était alors trop sombre pour permettre l'usage des instruments. A $9^h,2^m$, le disque extrême du côté du sud continuait à grandir, et le dernier vers le nord perdait son éclat d'un moment à l'autre; celui-ci s'évanouit à $9^h,4^m$. Enfin, à $9^h,18^m$, la dernière lueur rouge, au sud, venait de disparaître, la dernière au nord n'étant qu'un de ces lisérés rougeâtres faiblement accusés qu'on voit souvent après le coucher du soleil dans un horizon nuageux.

On voit que tous ces phénomènes eurent lieu dans la période crépusculaire : on peut les expliquer par des solutions de continuité circulaires dans les nuages, qui donnaient ainsi passage aux rayons du soleil; mais j'ai cru devoir les décrire parce que de pareils effets sont rares, et ne me paraissent pas avoir été mentionnés. Je n'ai rien dit de l'apparence grandiose que présente un chapelet de perles rouges suspendu sur une ligne presque droite dans un ciel nuageux au-dessus d'un horizon nettement défini et relativement bien éclairé. Les promeneurs qui aiment à s'attarder sur le rivage de l'Océan ont rarement vu un spectacle aussi mobile et aussi délicieusement intense que celui du 9 juillet 1853.

A ces différents aspects dus à la réfraction et à la réflexion de la lumière dans les couches atmosphériques, ajoutons enfin la déformation du soleil à l'horizon, qui présente parfois les apparences les plus bizarres par suite du défaut d'homogénéité des couches inférieures et des jeux singuliers de la réfraction. La figure 82 reproduit l'une des observations les plus curieuses qui aient été faites sur ce point. C'est celle que MM. Biot et Mathieu ont faite sur les bords de la mer à Dunkerque.

Tous ces brillants météores n'étaient pas inconnus aux anciens. « Quelquefois, dit Pline, on voit plusieurs soleils en même temps, non pas au-dessus ni au-dessous de l'astre, mais de côté. Nos

pères ont eu le spectacle de trois soleils sous les consulats de Mucius et de Posthumius, sous Marcius et Parcius, sous Antoine et Dolabella, sous Lépide et Planus, et sous le règne de Claude. » (Pline, t. II, ch. 31.) En donnant à ces météores le nom de soleil, les anciens n'ignoraient pas plus que nous que leur ressemblance avec cet astre se bornait à la forme, et que languissants et sans force (Sénèque), ils n'avaient rien de sa puissance calorifique.

De tous les phénomènes optiques, ce sont ces halos, parhélies, croix, couronnes, apparences fantastiques, qui ont le plus frappé les populations, et qui occupent le plus de place dans les annales météorologiques superstitieuses, dans l'histoire des phénomènes célestes. Effrayés par ces aspects insolites, comme par les mirages, pluies d'étoiles, tremblements de terre, etc., les hommes, dont l'ignorante vanité se représentait Dieu sous la forme d'un vieil empereur assis sur les nuages, interprétaient ces phénomènes comme autant de signes de la volonté divine, tantôt compatissante, tantôt courroucée. Plusieurs critiques du siècle dernier et de celui-ci ont nié ces apparitions et déclaré absolument mensongères les curieuses relations du moyen âge. Or, après avoir comparé ces relations, on ne peut partager cet esprit de négation absolue; seulement tous ces récits ont grossi, exagéré, altéré la réalité par suite des terreurs causées par ces mystérieux phénomènes. Plusieurs d'entre eux restent encore difficiles à expliquer, malgré les progrès des sciences; mais la plupart rentrent dans les classifications que nous avons adoptées ici.

Il est curieux d'en rappeler quelques-uns.

L'apparition de ce genre qui eut le plus grand retentissement dans l'histoire de notre civilisation chrétienne est certainement celle du fameux *labarum* de Constantin. Dans sa guerre contre Maximien Hercule, cet empereur et son armée furent témoins de l'apparition d'une *croix brillante* qui fixa dans le ciel les regards étonnés de plusieurs milliers d'hommes. Les auteurs se sont peu étendus sur les circonstances météorologiques du phénomène; cependant ils ont remarqué que le ciel était couvert d'un voile gris et que le temps devint pluvieux. Ce sont bien là les conditions du halo. Nous pouvons parfaitement admettre la réalité de la vision, mais de son caractère purement naturel. On conçoit parfaitement d'ailleurs qu'elle ait frappé le fondateur du christianisme politique et qu'on l'ait regardée comme une manifestation divine. La nuit suivante, Constantin revit la même croix en rêve et un ange lui ordonnant de prendre la croix pour enseigne militaire. Ce

songe s'explique parfaitement aussi. Il reste d'inexpliqué l'inscription que Constantin dit avoir lue sur cette croix lumineuse : IN HOC SIGNO VINCES, ou pour mieux dire : ἐν τοῦτο νῖκε, car c'était en grec. A-t-il cru voir cette inscription dans le moment même? C'est possible. Son état-major, qui ne savait guère le grec, et ses soldats qui ne savaient même pas lire, ont pu, comme le personnage emplumé de la lanterne magique de La Fontaine, répondre qu'ils voyaient « quelque chose », mais qu'ils ne distinguaient pas très-bien. Quelque arrangement partiel de stries nuageuses a pu donner lieu à l'illusion. Zonare raconte bien que la veille de la mort de Julien l'Apostat on vit une agglomération d'étoiles représenter par des lettres la phrase suivante : *Aujourd'hui Julien est*

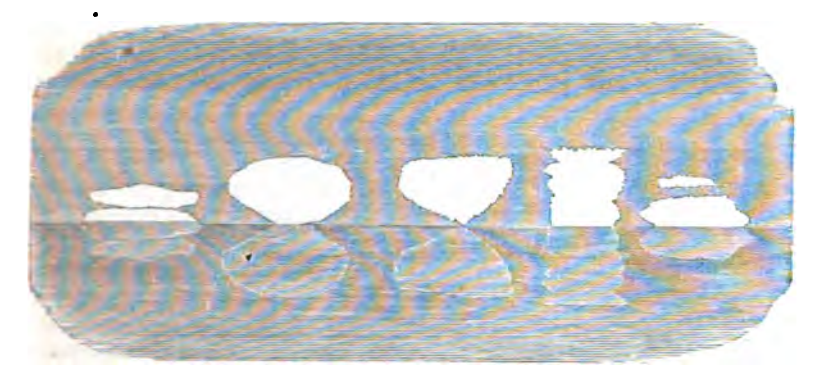


Fig. 82. — Apparences présentées par le soleil à l'horizon, dues aux jeux de la réfraction.

tué par les Perses!... Mais il est plus probable que l'inscription de Constantin a été faite après coup.

Les phénomènes optiques de l'Atmosphère, tels que halos, parhélies, parasélènes, arcs-en-ciel, etc., ont de tout temps joué un grand rôle dans le mysticisme des météores. Les annalistes romains en mentionnent un grand nombre. Cette histoire des apparitions prodigieuses est assez curieuse pour que nous la résumions ici, d'après le récent travail sur la météorologie mystique de notre savant confrère le docteur Grellois.

L'an de Rome 636, vers le commencement de la guerre de *Jugurtha*, peu avant l'irruption des Cimbres et des Teutons, on vit à Rome trois soleils. En 680, *le ciel étant pur et serein*, on vit en l'air, au-dessus du temple de Saturne, trois soleils et un arc-en-ciel. En même temps les Grecs et les Carthaginois s'unirent à Persée pour combattre les Romains. En 710, Octave faisant son entrée à Rome, le soleil se trouva, *par un ciel serein*, environné d'un grand cercle semblable à l'arc-en-ciel. — Est-il vrai que le ciel ait été pur dans ces deux exemples? C'est ce qu'il serait difficile de vérifier.

La même année, trois soleils brillèrent en même temps : le plus bas des trois parut entouré d'une couronne en forme d'épis, qui éclairait toute la ville ; le soleil, revenu à son unité, n'eut pendant plusieurs mois qu'une lumière pâle et languissante. C'est-à-dire que ces parhélies, comme toujours, durent leur naissance à un ciel nuageux, et que l'humidité atmosphérique, persistant durant plusieurs mois, laissa à la lumière solaire un aspect pâle et languissant. En 712, on eut trois soleils, vers la troisième heure du jour, *pendant les sacrifices expiatoires*.

Les annales mentionnent, l'an 1118 de notre ère, sous le règne d'Henri II, roi d'Angleterre, paraissant en même temps, deux pleines lunes, l'une à l'orient, l'autre à l'occident. La même année, le roi vainquit son père Robert, duc de Normandie, et subjugua cette contrée.

En 1156, sous le même règne, on vit pendant plusieurs heures trois cercles autour du soleil, et lorsqu'ils disparurent, on aperçut trois soleils. Ce prodige signifia la discorde du roi et de l'archevêque Thomas de Canterbéry. L'empereur détruisit Milan, après sept ans de siége.

L'année suivante, on vit encore trois soleils, et, au milieu de la lune, une *croix blanche*. En même temps éclata une discorde entre les cardinaux pour l'élection du souverain pontife, et entre les princes électeurs, pour l'élection du roi des Romains.

En 1469, on vit trois soleils à Rome ; les esprits en furent troublés. La même année, la guerre éclata en Italie, à la mort de François, duc de Milan, et de nombreuses conspirations se formèrent.

En janvier 1514, dans le duché de Wurtemberg, on aperçut trois soleils, celui du milieu étant plus grand que les autres. En même temps, on vit au ciel des glaives sanglants et embrasés. Au mois de mars suivant, on vit encore trois soleils et trois lunes ; la même année, les Russes furent vaincus par les Polonais près du Borysthène. Smolensk, place forte de la Lithuanie, fut livrée à la Russie. Les Turcs perdirent une grande bataille contre les Persans dans l'Arménie majeure. En 1520, deux parhélies. L'année suivante, les Turcs envahirent la Hongrie et s'emparèrent par trahison de l'Albanie. Luther soutint sa doctrine contre l'Église de Rome.

Le 21 avril 1551, trois soleils et trois arcs-en-ciel furent aperçus à Magdebourg. Cette circonstance fit abandonner, par ordre de l'empereur Charles V, le siége de cette ville, qui durait depuis quinze mois, par Maurice de Saxe et Albert, marquis de Brandebourg.

On signala, en 1104, des phénomènes atmosphériques qui semblent résumer tous les prodiges aériens : le ciel parut souvent enflammé, les éclipses du soleil et de la lune y furent fréquentes. Plusieurs étoiles tombèrent du ciel sur la terre ; des torches ardentes, des traits de feu, des feux volants parurent souvent au ciel ; on y compta aussi des astres nouveaux. Les monuments, les maisons, les hommes, les troupeaux, les champs et leurs produits furent affligés par la foudre, la grêle, la tempête. Des armées de feu, des troupes de chevaux, des cohortes d'infanterie, des armées ensanglantées offrirent au ciel de fantastiques combats.

En 1118, pendant le mois de juin, une grêle horrible affligea plusieurs lieux de la Saxe. *Une croix admirable*, plus brillante que le soleil, parut au ciel le jour de Pâques.

En 1120, au milieu des nuées sanglantes, *il parut un homme et une croix embrasés*. Il plut du sang, on crut être au dernier jour[1]. Ces prodiges annonçaient une guerre civile.

En 1463, dans la Petite Pologne, on vit pendant plus de deux heures, dans la soirée, *l'image de Jésus crucifié* se diriger dans l'air, avec un glaive, de l'occident vers le midi. De grands malheurs survinrent en ce pays.

En 1489, comètes, vents violents, *combats de cavaliers et de fantassins ; des villes*,

1. Voyez plus loin les *pluies de sang*, pluies d'insectes, etc.

des glaives, des armées ensanglantées. Ces signes horribles furent suivis de pluies diluviennes, de stérilité, de famine et de peste.

En 1526, *des enseignes militaires tachées de sang* parurent au ciel pendant la nuit, dans le grand-duché de Wurtemberg.

En 1529, *un corps et un glaive sanglants, une citadelle de feu, des chevaux de feu, quatre comètes jetant des flammes aux quatre coins du monde*, tels sont les prodiges qui annoncèrent les agitations de l'Allemagne, la dévastation, les massacres des chrétiens par les Turcs.

Johnston dit qu'en 1532, non loin d'Inspruck (Œnipons), on vit dans l'air *des images miraculeuses, un chameau entouré de flammes, un loup vomissant du feu, au milieu d'un cercle de flammes; un lion le suivait.*

En 1548, on vit, en Saxe, *des armées célestes* tomber sur quelques villes.

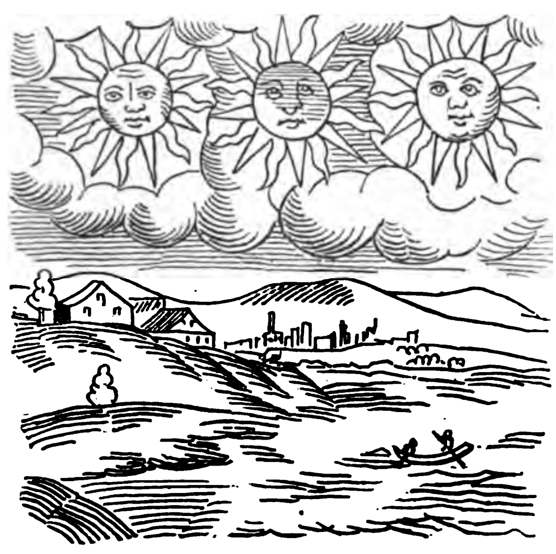


Fig. 83. — Les trois soleils de 1492.

Voici un bon type de ces exagérations :

En 1549, la lune fut vue entourée d'un halo et de parasélènes. Près de ceux-ci, on vit un lion de feu et un aigle se perçant la poitrine. A cela succéda une apparition horrible de villes enflammées et, autour d'elles, des chameaux, et l'image du Christ en croix, avec les deux larrons, et une assemblée qui paraissait être celle des apôtres. Une dernière vision fut la plus terrible de toutes : on aperçut un homme debout, d'aspect féroce, armé d'un glaive, menaçant une jeune fille qui le suppliait, en pleurant, de ne pas la frapper.... Quels yeux il fallait pour distinguer tous ces détails!

En 1557, un savant professeur d'Heidelberg, Théobald Wolffhart, écrivit, sous le pseudonyme de Conrad Lycosthènes, un *Livre des Prodiges*, qui se compose de tous ces phénomènes météorologiques

et astronomiques, illustrés à plaisir. Les aspects divers sous lesquels se produit la double réfraction de l'astre sont innombrables dans son livre. Ce n'était pas seulement dans les régions du Nord que les parhélies frappaient les esprits de terreur. A Rome même et dans les villes scientifiques de l'Italie, siéges du mouvement intellectuel, la crainte qu'ils inspiraient aux populations n'était pas moindre qu'à Nuremberg ou à Rotterdam. Celui qui parut en 1469, par exemple, troubla au plus haut degré les esprits; et ce n'était pas sans sujet, nous dit le *Livre des Prodiges*. Dans la même année, Georges Scanderberg, le fléau des Musulmans, remporta une victoire signalée sur les Turcs, et la mort de Sforce, fils du duc de Milan, suscita des guerres déplorables en Italie. Florence fut désolée; l'Allemagne troublée par de nouveaux combats du duc de Brunswick. Des séditions violentes ensanglantèrent l'Angleterre. En 1492, le parhélie se combine, au mois de décembre, avec l'apparition successive de deux comètes, et certés ce n'eût pas été un phénomène trop magnifique pour annoncer la découverte d'un nouveau monde; mais le triple soleil a été vu en Pologne, et les prodiges sont pour le Nord. L'empereur Maximilien est vaincu par Ladislas, roi de Hongrie; Casimir, roi des Polonais, expire, et une grande portion de la ville de Cracovie est dévorée par les flammes. — Nous reproduisons plus haut ce fameux triple soleil du *Livre des Prodiges*.

Avec les progrès de l'astronomie et de la physique, la décadence de l'astrologie, et la liberté d'examen, ces phénomènes optiques perdirent leur caractère surnaturel. Depuis le siècle dernier on les observe d'un œil calme, on les analyse; et nous avons vu par ce chapitre que la théorie les explique, et que les observatoires et les savants les enregistrent comme autant de faits physiques appartenant au vaste domaine de la météorologie. L'historien Josèphe rapporte qu'au commencement du siége de Jérusalem par les Romains, l'an 70 de notre ère, les Juifs devinèrent leur désastre en voyant « des armées marcher dans les nuages rouges. » Des apparences presque analogues ont été visibles au commencement du siége de Paris, en septembre 1870, sans compter l'aurore boréale du 24 octobre; mais nous savons maintenant de science certaine que ces effets physiques sont uniquement naturels, et qu'ils proviennent des jeux de la Lumière dans l'Atmosphère.

CHAPITRE VIII.

LE MIRAGE.

L'Atmosphère ne produit pas seulement de singuliers phénomènes optiques dans les hauteurs aériennes où se joue le monde gracieux des météores; elle manifeste sa fantaisie jusque dans cette région vulgaire où notre poids organique nous enchaîne tous, et la surface même du sol et des eaux est parfois illustrée de métamorphoses étranges dues au jeu des rayons de la lumière dans l'air qui baigne cette surface terrestre.

On désigne sous le nom de *mirage* des apparences optiques causées par un état particulier des *densités* des couches atmosphériques, état faisant varier les réfractions ordinaires dont nous avons parlé dans un chapitre précédent.

Par suite de cette variation, les objets lointains paraissent soit déformés eux-mêmes, soit transportés à une certaine distance, soit renversés ou réfléchis, suivant la déviation qu'imprime aux rayons lumineux la densité anormale de l'air.

Ce n'est pas d'aujourd'hui qu'on observe le mirage. En relisant il y a quelques mois la Bibliothèque historique, toujours si instructive, de Diodore de Sicile, je trouvai une description du phénomène, qui date de 2000 ans, et qui ne manquera pas d'intéresser mes lecteurs. La voici :

« Il se passe un phénomène extraordinaire en Afrique. A certaines époques, surtout pendant les calmes, l'air y est rempli d'images de toutes sortes d'animaux, les unes immobiles, et les autres flottantes. Tantôt elles paraissent fuir, tantôt elles semblent poursuivre; elles sont toutes d'une grandeur démesurée, et ce spectacle remplit de terreur et d'épouvante ceux qui n'y sont pas

habitués. Quand ces figures atteignent les passants qu'elles poursuivent, elles leur entourent le corps, froides et tremblotantes. Les étrangers, qui ne sont point accoutumés à cet étrange phénomène, sont saisis de frayeur; mais les habitants du pays, qui y sont souvent exposés, ne s'en mettent point en peine.

« Quelques physiciens essayent d'expliquer les véritables causes de ce phénomène, qui semble extraordinaire et fabuleux. Il ne souffle, disent-ils, point de vent dans ce pays, ou seulement un vent faible et léger. Les masses d'air condensées produisent en Libye ce que produisent chez nous quelquefois les nuages dans les jours de pluie, savoir, des images de toute forme qui surgissent de tout côté dans l'air. Ces couches d'air, suspendues par des brises légères, se confondent avec d'autres couches en exécutant des mouvements oscillatoires très-rapides; tandis que le calme se fait, elles s'abaissent sur le sol par leur poids et en conservant leurs figures qu'elles tenaient du hasard; si aucune cause ne les disperse, elles s'appliquent spontanément sur les premiers animaux qui se présentent. Les mouvements qu'elles paraissent avoir ne sont pas l'effet d'une volonté; car il est impossible qu'un être inanimé puisse marcher en avant ou reculer. Mais ce sont les êtres animés qui, à leur insu, produisent ces mouvements de vibration; car en s'avançant, ils font violemment reculer les images qui semblent fuir devant eux. Par une raison inverse, ceux qui reculent paraissent, en produisant un vide et un relâchement dans les couches d'air, être poursuivis par des spectres aériens. Les fuyards lorsqu'ils se retournent ou qu'ils s'arrêtent sont probablement atteints par la matière de ces images, qui se brise sur eux et produit, au moment du choc, la sensation du froid. »

On voit que si, dès avant l'époque de Diodore, on observait le mirage, on était toutefois loin d'en avoir l'explication scientifique, quoique déjà cependant on la supposait dans un jeu de densité des couches d'air.

Ce même phénomène (dont Quinte-Curce a également parlé) a été remarqué depuis longtemps par les Arabes, et il en est question à plusieurs reprises dans les écrivains de l'Orient. On trouve entre autres dans le Coran que « les actions de l'incrédule sont semblables au sérab (mirage) de la plaine : celui qui a soif le prend pour de l'eau jusqu'à ce qu'il s'en approche, et il trouve que ce n'est rien. »

C'est surtout dans le milieu du dix-septième siècle que le mirage a commencé à attirer l'attention des physiciens. La découverte des

lunettes a permis de faire un grand nombre d'observations qui n'eussent pas été possibles à l'œil nu; la connaissance des lois de la réfraction de la lumière, celle des variations de la densité de l'air par suite des changements de sa température, sont venues de leur côté préparer les voies à l'explication théorique de ces bizarres apparences.

Il faut arriver à l'année 1783 pour trouver le premier travail véritablement scientifique qui ait été publié sur le mirage. Ce travail est dû au professeur Busch, qui l'a observé sur l'Elbe, auprès de Hambourg, et sur les côtes de la mer du Nord et de la Baltique. Il s'est servi souvent d'une lunette, et l'emploi de ce procédé a mis en évidence pour lui des détails jusque-là inconnus. Il a vu en diverses occasions ce *miroir des eaux*, ce *faux rivage* en dessous duquel paraissent se peindre les images renversées; il a vu des navires suspendus dans les airs, et portant sous leur carène l'image renversée de leurs mâts et de leurs voiles. Le 5 octobre 1779, il apercevait, à 2 milles allemands de distance de la ville de Brême, l'image ordinaire de cette ville et une deuxième image très-nette et renversée; entre la ville et lui s'étendait une vaste et verte prairie; les circonstances principales du phénomène sont clairement indiquées dans ce travail, sans toutefois d'explication théorique.

C'est pendant l'expédition de Bonaparte en Égypte que cette explication théorique a été donnée.

Le sol de la basse Égypte forme une vaste plaine parfaitement horizontale; son uniformité n'est interrompue que par de petites éminences, sur lesquelles s'élèvent des villages qui se trouvent ainsi à l'abri des inondations du Nil. Le matin et le soir, rien n'est changé dans l'aspect de la contrée; mais lorsque le soleil a échauffé la surface du sol, celui-ci semble terminé à une certaine distance par une inondation. Les villages paraissent comme des îles au milieu d'un lac immense, et au-dessous de chaque village on en voit l'image renversée. Pour compléter l'illusion, le sol s'efface et la voûte du firmament se réfléchit dans une eau tranquille. On comprend les déceptions cruelles que dut éprouver l'armée française. Accablée de fatigue, dévorée par la soif sous un ciel embrasé, elle croyait toucher à cette grande nappe d'eau transparente dans laquelle se dessine l'ombre des villages et des palmiers; mais à mesure que l'on approche, les limitesde cette inondation apparente s'éloignent; le lac imaginaire qui semblait entourer le village se retire; enfin il disparaît entièrement, et

l'illusion se reproduit pour un autre village plus éloigné. Témoins de ce phénomène, les savants attachés à l'expédition n'éprouvèrent pas moins de surprise que le reste de l'armée; mais Monge en donna l'explication.

La théorie du mirage demande, pour être exactement comprise, une attention toute particulière. Ce phénomène se produit lorsque les rayons lumineux, grâce auxquels nous voyons les objets, subissent avant d'arriver à notre œil une déviation causée par la différence de densité des couches d'air qu'ils traversent. Nous avons vu, à propos des crépuscules, que lorsqu'un rayon lumineux pénètre d'un milieu moins dense dans un milieu *plus* dense, il subit une déviation qui le courbe vers le sol. Or, lorsqu'il passe au contraire d'un milieu plus dense dans un milieu *moins* dense, il subit une déviation qui le *relève* vers le ciel.

De plus, l'angle de réfraction est plus grand que l'angle d'incidence, et il arrive un moment où tel rayon produit en se réfractant un angle de 90°, ou angle droit avec la verticale. Cet angle s'appelle l'*angle limite.*

Au delà de l'angle limite, les rayons sont réfléchis et remontent. C'est ce qu'on désigne en physique sous le nom de *réflexion totale*.

On peut prendre un exemple de ce fait en remplissant d'eau un verre que l'on tient de manière à voir la surface du liquide par en dessous. Cette surface se comporte comme un miroir. Une cuiller plongée s'y réfléchit. Autre exemple : un prisme de verre placé à l'ouverture d'une chambre obscure peut intercepter entièrement le passage de la lumière par ce même fait de réflexion totale. En résumé, lorsqu'un rayon lumineux tend à sortir d'un milieu plus réfringent dans un milieu moins réfringent, sous un angle plus grand que l'angle limite, le rayon est totalement réfléchi.

Cela posé, nous pouvons dire maintenant que le mirage est un phénomène de réflexion totale.

Par l'effet des rayons solaires, lorsque l'Atmosphère est calme, les couches d'air qui sont en contact avec le sol s'échauffent beaucoup, et il peut arriver que dans une petite épaisseur leur densité soit décroissante à mesure qu'elles s'approchent du sol lui-même. C'est un fait purement accidentel, qui dépend de diverses circonstances propres au lieu où on l'observe, qui ne s'étend que très-peu et ne porte aucune atteinte, par conséquent, à la loi générale du décroissement de la densité à mesure qu'on s'élève. Dans le cas où

ces conditions physiques se rencontrent, voici ce qui peut arriver : un rayon lumineux venu du point M (fig. 84) va se réfracter successivement en *ad* en s'éloignant de la normale ; à un certain moment sa direction coïncidera avec celle de la couche d'air A, et cette dernière fera l'office d'un miroir ; le rayon suivra donc en sens inverse une route pareille A, *d'*, *a'* à celle qu'il a déjà suivie et atteindra l'œil de l'observateur, qui verra dans la direction inférieure OM une image du palmier M, en même temps qu'il verra l'objet directement. C'est donc la couche d'air qui, à un certain

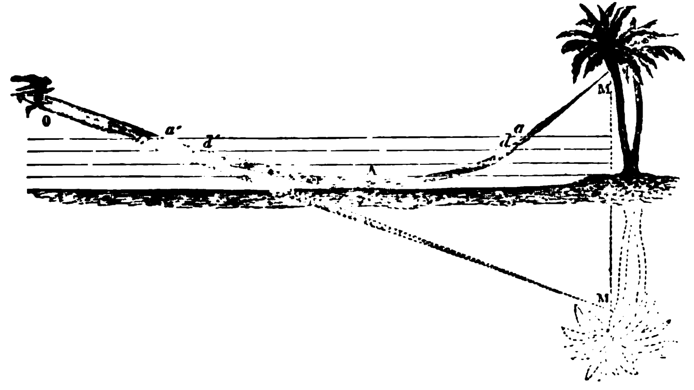


Fig. 84. — Explication du mirage ordinaire.

moment, devient miroir, et joue par conséquent le même rôle qu'une nappe d'eau réfléchissante.

Tel est le mirage ordinaire, ou mirage inférieur.

Cette déviation inférieure et réfléchie des rayons lumineux ne frappe pas toujours autant qu'on pourrait le croire. Bien des hommes passeront à côté sans la remarquer, et même, prévenus du fait, déclareront ne rien apercevoir d'extraordinaire ou de digne d'être noté. Pour bien discerner le mirage, il faut non-seulement une vue longue et étendue, mais savoir observer des détails, et avoir l'habitude de l'horizon ; aux voyageurs, aux marins, aux météorologistes, cet exercice est devenu familier ; mais très-souvent des yeux non scientifiques ne le remarquent pas. Cependant dans certains cas, et surtout en certaines régions du globe, le mirage se révèle avec une telle évidence qu'il frappe les yeux les plus inattentifs. Tel paraît quelquefois le mirage sur les côtes du détroit de Messine ; tel il paraît, mais bien plus souvent encore, dans les plaines sablonneuses de l'Arabie ou de l'Égypte.

Le mirage se montre tantôt sur la surface de la mer, des lacs ou des grands fleuves, tantôt sur les grandes plaines sèches et principalement dans les régions sablonneuses, sur les grandes routes ou sur les grèves du littoral de la mer.

Notre dessin représente l'effet le plus fréquent du mirage en Égypte. La vue est prise dans le désert de Suez, en allant dans la presqu'île du Sinaï. C'est l'heure du midi, moment où le mirage y est en général le plus sensible. L'Atmosphère ondule, grise et brumeuse, de sorte que l'horizon s'accuse à peine. Les eaux et les oasis qui apparaissent au loin sont un effet de mirage. Elles paraissent être à 4 kilomètres environ de l'observateur. Les couches inférieures de l'Atmosphère deviennent un véritable miroir sur lequel apparaît la reproduction agrandie et déformée de simples broussailles fort éloignées. C'est l'image trompeuse qui souvent attire la caravane fatiguée qui vient y tomber et s'endormir du dernier sommeil. C'est la « soif de la gazelle, » qui toujours renaît et jamais n'est assouvie.

Souvent ces images trompeuses, dues au jeu des rayons solaires et à leur réfraction prismatique à travers des couches d'air d'inégale densité, présentent des formes purement imaginaires et que l'on est tenté de considérer comme réelles, quoique leur origine soit aussi fortuite que celle des apparitions manifestées parfois dans les nuages.

Autant dirons-nous de ces îles inconnues qui apparaissent, au milieu des océans, aux navigateurs étonnés et les égarant vers de riantes contrées imaginaires. Les marins suédois ont cherché longtemps une île magique qui semblait s'élever entre les îles d'Aland et celles d'Upland : ce n'était qu'un mirage. Ces villes, qui paraissent élevées par la baguette d'une fée, ne sont parfois que le reflet de villes plus éloignées, mais souvent aussi rien ne saurait expliquer, sinon leur nature, du moins leur origine. Durant l'été de 1847, « par une brûlante journée de juillet, dit M. Grellois, je cheminais lentement, au pas de mon cheval, entre Ghelma et Bône, en compagnie d'un aimable jeune homme que sept ans plus tard j'avais la douleur de perdre. Arrivés à deux lieues environ de la ville de Bône, vers une heure du soir, nous nous arrêtons tout à coup, au détour d'un sentier, émerveillés en présence du tableau qui s'étalait à nos yeux. A l'est de Bône, sur un terrain sablonneux dont, quelques jours auparavant, nous avions constaté l'aride et plate nudité, s'élevait en ce moment, sur une colline doucement inclinée et baignant ses pieds dans la

Hachette & Cie

N Berchère pinx^t

Eug Ciceri Chromolith

LE MIRAGE EN AFRIQUE.

Imp Lemercier & Cie Paris

mer, une belle et vaste cité ornée de monuments, de dômes et de clochers. L'illusion était telle que la raison seule se refusait à admettre la réalité de cette vision, dont nous eûmes le ravissant spectacle pendant près d'une demi-heure. D'où venait cette apparence? Rien, dans cette ville fantastique, ne ressemblait à Bône, moins encore à La Calle ou à Ghelma, distantes d'ailleurs d'une vingtaine de lieues. Admettons-nous l'image réfléchie de quelque grande cité de la côte de Sicile? Ce serait, il me semble, dépasser toute vraisemblance. »

Le mirage inférieur se traduit parfois par de simples effets de réfraction : altération ou grossissement des objets, effets souvent curieux. Au mois de mai 1837, par exemple, pendant l'expédition d'Algérie qui précéda le traité conclu avec Abd-el-Kader, M. Bonnefont observa entre autres effets de mirage le curieux exemple que voici :

Un troupeau de flamants, échassiers fort communs dans cette province, défila sur la rive sud-est, à six kilomètres de distance. Ces volatiles, à mesure qu'ils quittaient le sol pour marcher sur la surface du lac, prenaient des dimensions telles qu'ils ressemblaient, à s'y méprendre, à des cavaliers arabes défilant en ordre ! L'illusion fut un instant si complète que le général en chef, Bugeaud, dépêcha un spahis en éclaireur. Ce cavalier traversa le lac en ligne droite; mais arrivé au point où les ondulations commençaient à se produire, les jambes du cheval prirent insensiblement de telles dimensions en hauteur, que cheval et cavalier semblaient être supportés par un animal fantastique ayant plusieurs mètres de hauteur, et se jouant au milieu des flots qui semblaient le submerger.. . Tout le monde contemplait ce phénomène curieux, lorsqu'un épais nuage, interceptant les rayons du soleil, fit disparaître ces effets d'optique et rétablit la réalité de tous les objets.

Parfois il se produisait un autre effet, qui devint bientôt un sujet de récréation pour les militaires. Si, pendant que le soleil était à l'est, le vent soufflant du côté opposé, on projetait sur le lac un petit corps léger, susceptible d'être emporté par le vent, il était curieux de le voir grossir à mesure qu'il s'éloignait, et dès que le vent lui avait fait atteindre les ondulations, il affectait tout à coup la forme d'une petite nacelle, dont l'agitation au-dessus des vagues était en raison des secousses que lui donnait le vent. Ce qui réussissait le mieux, c'étaient des têtes de chardon, qui obéissaient plus facilement à la plus légère brise; alors l'illusion était complète. Dans la matinée du 18 juin, par une température de 26 degrés centigrades, une brise un peu forte de l'orient et une couche nébuleuse qui commençait à dissiper la chaleur, on lança, à huit heures et demie du matin, un certain nombre de têtes de chardon : dès que le vent les eut poussées jusqu'au point où les ondulations se prononçaient, elles offrirent tout à coup le spectacle curieux d'une flottille en désordre.... Les nacelles semblaient se heurter les unes contre les autres: puis, poussées par le vent jusqu'à une très-grande distance, elles disparurent complétement comme si elles avaient sombré.

Voici maintenant une seconde sorte de mirage qu'il n'est pas rare de rencontrer, mais dont les effets sont moins frappants, et qui,

en conséquence, a été moins souvent étudié : c'est le rapprochement des objets situés au delà de l'horizon, et qui se trouvent relevés au-dessus de lui. Dans le mirage ordinaire que nous venons de décrire, les densités de l'air croissent avec la hauteur, les trajectoires sont convexes vers la terre, au moins dans toute leur partie inférieure. Dans le cas actuel, les densités vont en décroissant, et les trajectoires deviennent concaves et même fortement concaves vers le sol. Une trajectoire lumineuse, d'abord horizontale, devrait, se mouvant dans le vide, rester rectiligne; la réfraction atmosphérique *ordinaire* infléchit cette trajectoire, dans le sens des grands cercles du globe, en lui donnant environ la douzième partie de la courbure terrestre. Mais si l'état des couches est modifié et si, par l'effet d'un accroissement anormal dans la température, les densités décroissent avec la hauteur, suivant une progression beaucoup plus rapide que la progression habituelle, l'effet réfringent de ces couches peut donner à ces trajectoires une courbure plus considérable et qui soit le quart, la moitié ou même la totalité de la courbure d'un grand cercle de la terre; quelquefois même cet effet pourra leur faire surpasser cette dernière limite.

Dans ces nouvelles conditions, les diverses trajectoires passant par l'œil et situées dans un même plan vertical, au lieu de se couper deux à deux, comme cela avait lieu dans le cas du mirage ordinaire, vont *ordinairement* en divergeant. Il en résulte que l'on ne peut alors obtenir deux images d'un même objet. Si l'on mesure la dépression de l'horizon apparent, on le trouve très-relevé, quelquefois presque au niveau de l'horizon rationnel; des objets habituellement invisibles, à cause de leur grand éloignement et de la courbure de la terre, peuvent devenir visibles. La position accidentelle de ces objets en deçà du contour apparent de l'horizon sensible les fait juger beaucoup plus rapprochés que de coutume; une autre circonstance favorise encore cette illusion : c'est la transparence de l'air pendant que le phénomène se produit.

Comme d'ailleurs aucun renversement des objets n'a lieu, il est clair que l'on sera moins frappé de cette forme particulière du mirage que de celle qui correspond au cas précédemment examiné; aussi l'a-t-on observé moins souvent. Woltmann et Biot font remarquer que l'on peut reconnaître cet état particulier de l'Atmosphère à ce signe que la mer paraît concave, qu'en même temps l'horizon se voit par-dessus la coque des navires, que les rivages éloignés prennent l'aspect de hautes falaises, et que les objets très-distants paraissent s'élever en l'air comme des nuages.

Une circonstance optique bien digne d'attention est la suivante : en même temps que les objets sont ainsi relevés par-dessus d'autres objets qui les masquaient habituellement, et qu'ils sont transportés bien en deçà de l'horizon apparent, ils paraissent beaucoup moins éloignés de l'œil. Heim a décrit un effet de ce genre observé dans les montagnes de la Thuringe : il a vu tout d'un coup trois hauts sommets paraître par-dessus une chaîne intermédiaire qui aurait dû en masquer la vue, et ces sommets paraissaient si nets qu'il pouvait distinguer, avec une simple lorgnette, les touffes de gazon à une distance de 4 milles d'Allemagne (30 000 mètres). M. de Tessan a observé un phénomène du même genre dans le port de San-Blas en Californie.

Une lettre datée de Ténériffe et publiée par le *Courrier des Sciences* rapporte même que du sommet de cette montagne, d'où la vue embrasse un horizon de 50 lieues de rayon, un mirage a montré les monts Alleghany situés dans l'Amérique du Nord, à 1000 lieues de là ! Je n'ose pas encore accepter le fait.

Après les deux grandes catégories de faits appartenant au phénomène du mirage et dont l'une se rapporte au cas de la dépression des objets, et l'autre à celui de leur élévation, nous devons maintenant considérer un autre effet non moins curieux : le *mirage supérieur*.

Ce mirage présente trois cas divers. Tantôt, en effet, on aperçoit au-dessus de l'objet son image renversée, et au-dessus de celle-ci une seconde image droite comme l'objet; tantôt, de ces deux images supérieures, c'est l'image renversée qui existe seule, l'image droite supérieure ayant disparu; tantôt enfin il n'existe que l'image directe supérieure, sans image renversée au-dessous.

Woltmann a observé à trois reprises différentes le mirage supérieur : les objets paraissaient réfléchis dans le ciel; on voyait dans l'air l'image de l'horizon des eaux, et en dessous pendaient renversés les objets du rivage, maisons, arbres, collines, moulins : souvent une strie d'air séparait l'image renversée des objets placés au-dessous; mais le plus souvent, l'image et l'objet se rencontraient et se pénétraient de telle sorte qu'il en résultait l'apparence d'une haute falaise avec des stries verticales.

Welterling a fait des observations analogues sur les Svenska-Hogar, îles placées à l'entrée du port de Stockholm. « Au-dessus de chacun des écueils, un point noir se montre et paraît dans l'air; puis ces points vont en s'allongeant par le bas, et finissent par se souder avec l'écueil, qui prend la forme d'une colonne neuf ou dix

fois plus haute que lui. De là résulte un faux horizon sur lequel tous les objets se trouvent transportés; ils paraissent ainsi tous alignés sur un même niveau, et en ligne droite, quoique leur hauteur absolue soit fort différente. »

Crauz, au Groënland, a vu les îles Kokernen élever leurs rivages sous forme de falaises, de vieilles tours, de ruines. Brandes a observé plusieurs fois le mirage supérieur; les images des objets lui ont en général paru peu nettes; il ajoute que l'image supérieure et directe manque le plus souvent, et il attribue ce fait au défaut de sphéricité des couches homogènes. Il remarque aussi que c'est un phénomène très-local: quelquefois il se montrait sur les maisons orientales du bourg de Damgast, et en même temps on ne le voyait pas sur celles de l'occident du bourg.

Parfois ces objets se peignent dans le ciel à une assez grande hauteur au-dessus de l'horizon. Les uns se meuvent avec beaucoup de vitesse, les autres sont en repos, leurs contours brillent parfois de couleurs irisées. A mesure que la lumière augmente, les formes deviennent plus aériennes, et elles s'évanouissent quand le soleil se montre dans tout son éclat.

Bernardin de Saint-Pierre rapporte à ce propos les faits suivants :

Un phénomène très-singulier m'a été raconté par notre célèbre peintre Vernet, mon ami. Étant, dans sa jeunesse, en Italie, il se livrait particulièrement à l'étude du ciel, plus intéressante sans doute que celle de l'antique, puisque c'est des sources de la lumière que partent les couleurs et les perspectives aériennes qui font le charme des tableaux ainsi que de la nature. Vernet, pour en fixer les variations, avait imaginé de peindre sur les feuilles d'un livre toutes les nuances de chaque couleur principale et de les marquer de différents numéros. Lorsqu'il dessinait un ciel, après avoir esquissé les plans et la forme des nuages, il en notait rapidement les teintes fugitives sur son tableau avec des chiffres correspondants à ceux de son livre, et il les colorait ensuite à loisir. Un jour, il fut bien surpris d'apercevoir au ciel la forme d'une ville renversée, il en distinguait parfaitement les clochers, les tours, les maisons. Il se hâta de dessiner ce phénomène, et, résolu d'en connaître la cause, il s'achemina, suivant le même rhumb de vent dans les montagnes. Mais quelle fut sa surprise de trouver à sept lieues de là la ville dont il avait vu le spectre dans le ciel, et dont il avait le dessin dans son portefeuille !

C'est peut-être à des effets de mirage qu'il faut rapporter une faculté extraordinaire de vision célèbre à l'île de France. Vers la fin du dernier siècle, un colon de cette île, M. Baltineau, signalait des navires placés bien au delà des limites de l'horizon jusqu'à une distance considérable. La science nouvelle qu'il prétendait avoir constituée en combinant les effets produits par les objets éloignés sur l'atmosphère et sur l'eau était nommée par lui la *Nauscopie*. Il vint à Paris, muni de certificats de l'intendant et du gouverneur de l'île de France attestant la réalité de sa découverte; mais il ne réussit même pas à obtenir une audience de M. de Castries, alors ministre de la marine. Personne ne s'enquit des moyens par lesquels il obtenait de si étonnants résultats auxquels un juge compétent, Arago, ne refusait pas de

rchant si certains phénomènes crépusculaires où les ombres portées éloignées jouent probablement un rôle, ne pouvaient pas mettre sur portant secret. Le pauvre colon retourna dans son île, où on le e sa vie passer presque tout son temps sur le bord de la mer, n, continuant à exciter l'étonnement de tous par l'exactitude

r se produit plus souvent au-dessus des côtes

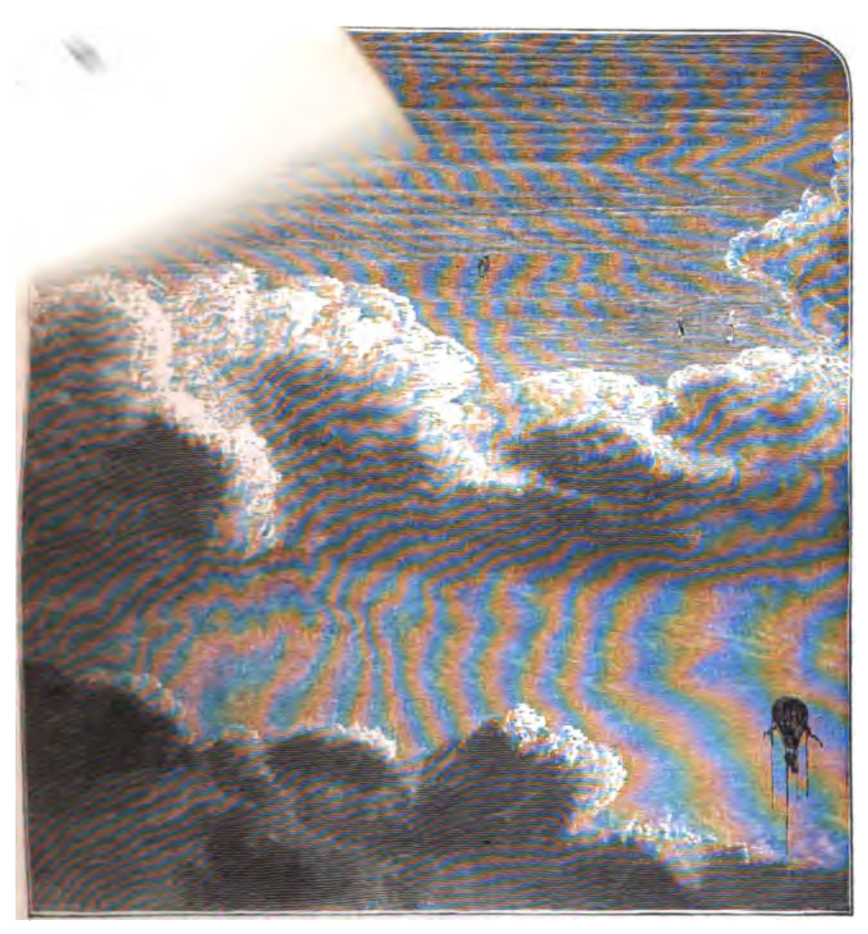


Fig. 85. — Mirage supérieur observé en ballon.

de la mer qu'en pleine terre; car la variation de densité des couches atmosphériques y est plus fréquente. Dans son ascension aéronautique du 16 août 1868, au-dessus de Calais, M. G. Tissandier a distingué, avec une grande netteté, l'image du bateau à vapeur et de plusieurs barques naviguant à l'envers sur un océan renversé. Le ciel supérieur réfléchissait la mer avec la nuance ver-

dâtre des eaux et les effets de lumière du rivage. Citons encore le curieux fait suivant, qui rappelle les apparitions du siége de Jérusalem, et celles qui accompagnèrent la guerre de Cinna et de Marius :

Le 20 septembre 1835, les habitants des campagnes voisines de l'Agar, l'une des collines du Mendio, en Angleterre, furent témoins d'un étrange spectacle : vers cinq heures du soir, on aperçut dans le ciel couvert de vapeurs assez épaisses, un immense corps de troupes à cheval, qui semblait défiler tantôt au pas, tantôt au grand trot; les cavaliers, le sabre en main, étaient tous uniformément équipés, et l'on distinguait presque jusqu'aux brides et aux étriers. Pendant quelque temps on les vit manœuvrer six de front, puis se former par deux rangs ou par files. Pendant plusieurs jours ce spectacle extraordinaire a fait le sujet de toutes les conversations de la ville de Bristol. Garnier, qui rapporte ce fait remarquable (*Traité de Météor.*, Bruxelles, 1837), n'hésite point à le considérer comme un mirage, quoique personne n'ait pu savoir où se trouvaient les *objets mirés*.

Il se passe peu de saisons sans que les journaux reproduisent l'observation d'un phénomène de mirage supérieur produit dans nos régions tempérées, tel que la réflexion d'une cité dans le ciel. Mais en général les images sont fugitives et diffuses. Récemment nous avons eu à Paris l'un de ces effets, d'autant plus remarquable qu'il a été produit par un clair de lune.

Dans la nuit du 14 décembre 1869, entre trois et quatre heures du matin, les personnes qui passaient sur les ponts et les quais furent témoins de ce curieux phénomène. Il faisait un beau clair de lune, mais la lune et le ciel étaient voilés par des nuages qu'on eût dit éclairés par la lumière d'une auréole boréale. C'est un bel effet de mirage supérieur, dont pendant plus d'une heure les personnes attardées par leurs plaisirs ou leurs affaires purent examiner le rare et intéressant spectacle. (Voyez la figure 86, qui le reproduit à peu près exactement.)

Paris, ses palais, ses monuments et son fleuve se montraient sur les nuages qui masquaient le ciel, mais renversés comme cela aurait eu lieu si au-dessus de Paris on avait placé une immense glace. Le Panthéon, les Invalides, Notre-Dame, les palais du Louvre et des Tuileries étaient dessinés. Du pont des Arts on voyait à l'ouest la Seine, les ponts, les flèches de Sainte-Clotilde, la place de la Concorde, les Champs-Élysées et le palais de l'Industrie, qui argentés par la clarté lunaire présentaient une image rosée d'un effet indescriptible.

Le mirage peut aussi se produire entre deux couches d'air séparées par un plan vertical. C'est ce qui arrive notamment pour les grands murs exposés au midi, lorsqu'ils sont échauffés par le soleil, et alors le mirage ordinaire se produit. Il est appelé, dans

ce cas, *mirage latéral.* Le mur joue ici le rôle que jouait le sol exposé aux rayons du soleil, et pour l'explication une ligne perpendiculaire au mur remplace la verticale que nous avons supposée pour le mirage horizontal. Mais, comme les couches d'air échauffées se renouvellent avec facilité en s'élevant le long du mur, l'action perturbatrice des densités ne s'étend pas à une distance bien considérable. Il faut donc placer son œil peu en avant du plan du mur, et regarder dans une direction parallèle les objets qui s'en rapprochent et s'en éloignent. Les personnes qui se dirigent vers les portes qui percent le mur, les images qui traversent dans le ciel le vertical parallèle à celui du mur, montrent toujours l'image renversée que la théorie du mirage ordinaire indique. Gruber paraît être un des premiers observateurs qui aient vu ce phénomène. Blakkader a décrit le mirage latéral qu'il a observé contre le mur du bastion du roi Georges, dans la ville de Leith. Il a été aussi observé par Gilbert. On le voit assez souvent à Paris pendant les chaudes journées, en plaçant son œil sur le prolongement du mur du Louvre ou de celui des Tuileries. Le mur méridional de la Bourse, échauffé sur les deux heures, réfléchit assez bien les objets placés près de lui pour un observateur qui place son œil un peu en avant du prolongement du mur. Dans les fortifications, au sud, deux personnes placées à un peu plus de cent mètres de distance l'une de l'autre aperçoivent très-bien leur image respective réfléchie par la mince couche d'air chaud qui monte le long du mur; on y distingue aussi la réflexion de la campagne, des arbres et des passants. On a observé le même fait à Berlin, et en général partout où l'attention s'est exercée. Dans le cas particulier que nous considérons, l'image a toujours paru sensiblement égale en grandeur à l'objet.

Ajoutons encore le mirage multiple qui se présente lorsque plusieurs images, toutes renversées, sont superporsées à l'objet. Biot et Arago ont vu se produire des phénomènes de ce genre, en stationnant sur la montagne Desserto de las Palmas, et observant, la nuit, au cercle répétiteur, un réverbère allumé dans l'île d'Ivyza. Au-dessus de l'image ordinaire, on a vu se former deux, trois ou quatre fausses images superposées dans la même verticale. Scoresby a observé, le 18 juillet 1822, un brick ayant au-dessus de lui trois images superposées, renversées toutes les trois : dans chacune d'elles, le bois du navire était en contact avec l'image pareillement renversée de la banquise au delà de laquelle il se trouvait placé.

Le mirage ne se présente pas toujours avec les caractères de régularité que nous avons signalés : tantôt la seconde image se montre au-dessus de la véritable; tantôt on voit les deux images à côté ou en face l'une de l'autre, dans certains cas se confondant, dans d'autres s'éloignant; tantôt, enfin, les images ne sont pas renversées, et paraissent suspendues dans les plaines de l'air.

Le docteur Vince rapporte plusieurs observations fort curieuses. De Ramsgate, on aperçoit par un beau temps le sommet des quatre plus hautes tours du château de Douvres. Le reste du bâtiment est caché par une colline qui se trouve à douze milles environ de Ramsgate. Le 6 août 1806, le docteur Vince, regardant du côté de Douvres, à sept heures du soir, aperçut non-seulement les quatre tours du château, comme à l'ordinaire, mais encore le château lui-même dans toutes ses parties jusqu'à sa base. On le voyait aussi distinctement que s'il eût été transporté tout d'une pièce sur la colline du côté de Ramsgate.

Biot et Mathieu ont fait des observations analogues à Dunkerque, sur les bords de la mer, dans la plage sablonneuse qui s'étend au pied du fort Risban. Biot en a donné la théorie détaillée dans les *Mémoires de l'Institut* pour 1809; il a fait voir qu'à partir d'un certain point *l*, pris à quelque distance au devant de l'observateur *o* (fig. 87), on peut concevoir une courbe *lb*, telle que tous les points qui sont au-dessous d'elle restent invisibles, tandis que tous les points qui sont au-dessus, jusqu'à une certaine hauteur, donnent deux images : l'une ordinaire et directe, l'autre extraordinaire, inférieure à la couche et renversée. Ainsi, un homme qui s'éloigne de l'observateur, en partant du point *l*, lui offre les apparences successives qui sont représentées sur la figure. Soret et Jurine ont observé, sur le lac de Genève, en septembre 1818, à dix heures du matin, le phénomène remarquable qui est représenté dans la figure 88. La courbe *abc* dessine la rive orientale du lac; une barque chargée de tonneaux, ayant ses voiles déployées, était en *p*, vis-à-vis la pointe de Belle-Rive, et faisait route pour Genève; les observateurs l'apercevaient, avec un télescope, dans la direction *gp;* ils étaient au bord du lac, au deuxième étage de la maison de Jurine, à une distance d'environ deux lieues. Pendant que la barque prit successivement les positions *q*, *r*, *s*, on en vit une image *latérale* très-sensible, en q', r', s', qui s'avançait comme la barque elle-même, mais qui semblait s'écarter à gauche de *gp*, tandis que la barque elle-même s'en écartait à droite. Quand le soleil éclairait les voiles, cette

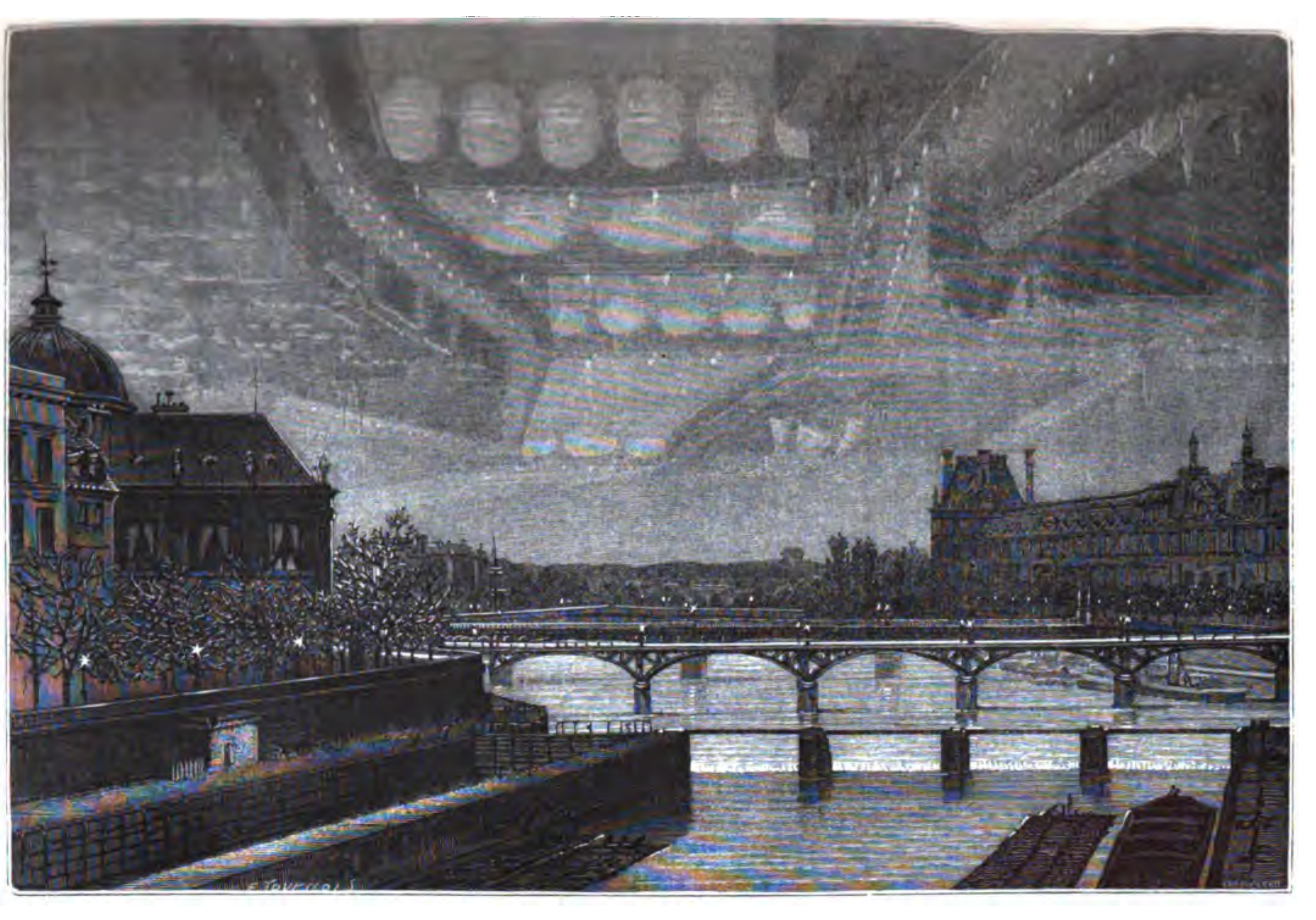


Fig. 86. — Mirage supérieur observé à Paris, en 1869.

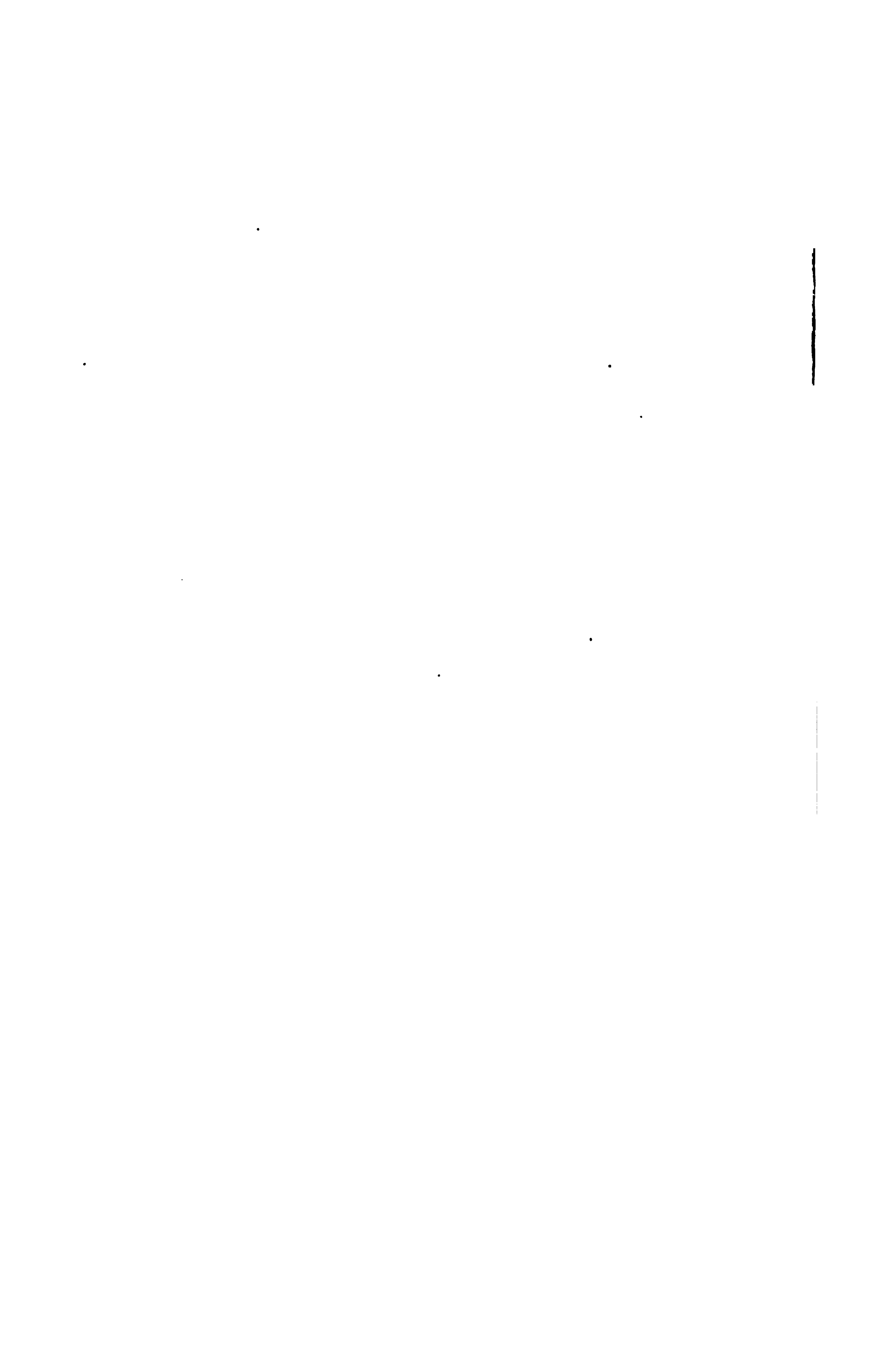


image était assez éclatante pour être aperçue à l'œil nu. La direction des rayons solaires est indiquée par *ly*.

Il suffit de connaître la position des lieux pour voir à l'instant que c'est un phénomène de *mirage latéral*. A droite de *gp* l'air était resté dans l'ombre pendant une partie de la matinée; à gauche, au contraire, il avait été échauffé par le soleil; la surface de séparation de l'air chaud et de l'air froid devait être à peu près *verticale*, dans une petite étendue au-dessus de l'eau; de part et

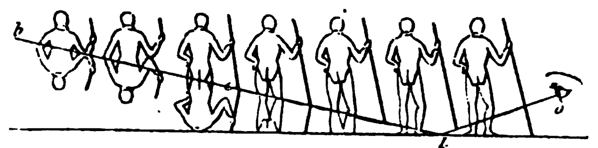


Fig. 87. — Effet de mirage simulant des figures de cartes.

d'autre de cette couche s'était fait un mélange de densité croissante, en allant de gauche à droite, et là se produisait, dans les couches verticales, ce qui se produit ordinairement sur le sol, dans des couches horizontales.

Dans les régions polaires, les jeux de la réfraction se présentent sous les apparences les plus capricieuses et les plus extraordinaires : « L'extrême condensation de l'air, en hiver, dit l'amiral Wrangell, et les vapeurs répandues, en été, dans l'atmosphère, donnent une grande puissance à la réfraction dans la mer Glaciale. En pareil cas, les montagnes de glace prennent souvent les formes les plus bizarres; quelquefois même elles semblent détachées de la surface glacée qui leur sert de base de manière à paraître suspendues en l'air. » Combien de fois l'amiral Wrangell et ses compagnons ne crurent-ils pas apercevoir des montagnes de couleur bleuâtre dont les contours se dessinaient nettement, et entre lesquelles il leur semblait distinguer des vallées et même des rochers. Mais au moment où ils se félicitaient d'avoir découvert la terre si ardemment souhaitée, la masse bleuâtre, emportée par le

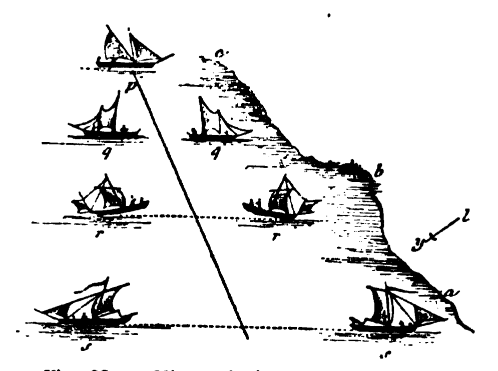


Fig. 88. — Mirage latéral observé sur le lac de Genève.

vent, s'étendait de côté et d'autre, et finissait par embrasser tout l'horizon. Scoresby, qui a recueilli dans les parages du Groënland tant d'observations intéressantes, fait remarquer aussi que la glace revêt à l'horizon les formes les plus singulières, et paraît même, sur beaucoup de points, suspendue en l'air.

Le phénomène le plus curieux fut de voir l'image renversée et parfaitement nette d'un navire qui se trouvait au-dessous de l'horizon. « Nous avions observé déjà de semblables apparences, dit-il, mais celle-ci avait pour caractère particulier la netteté de l'image, malgré le grand éloignement du navire. Ses contours étaient si bien marqués qu'en regardant cette image avec une lunette de Dollond, je distinguais les détails de la mâture et de la carcasse du navire, que je reconnus pour être celui de mon père. En comparant nos livres de loch, nous vîmes que nous étions à 55 kilomètres l'un de l'autre, c'est-à-dire à 31 kilomètres de l'horizon, et bien au delà des limites de la vue distincte. »

Sur les bords de l'Orénoque, Humboldt et Bonpland trouvèrent à midi la température du sable au soleil à 53 degrés, tandis qu'à 6 mètres au-dessus du sol, la chaleur de l'air n'était que de 40 degrés centigrades. Les monticules de San-Juan et d'Ortez, la chaîne appelée *le galera*, situés à 3 ou 4 lieues de distance, paraissaient suspendus ; les palmiers semblaient manquer de pied; enfin, au milieu des savanes de Caracas, ces savants crurent voir à une distance d'environ 2000 mètres, un troupeau de *vaches en l'air*. Ils ne remarquèrent point de double image. Humboldt observa également un troupeau de bœufs sauvages dont une partie paraissait avoir les jambes au-dessus de la terre, tandis que l'autre reposait sur le sol.

Ce n'est pas seulement dans les pays chauds que se forment les mirages; nous venons de voir qu'on en a observé jusqu'au sein des mers polaires. Nous remarquons entre autres une pittoresque description faite par le navigateur Hayes lors de son voyage aux mers arctiques en 1861. C'était au détroit de Smith, au 80e degré de latitude, par conséquent à 10 degrés seulement du pôle, et à la fin de juillet.

Un faible zéphir, dit-il, ridait à peine la surface de la mer, et sous un soleil éblouissant, nous glissions sur les flots paisibles, semés partout d'icebergs étincelants et de débris de vieux champs de glace; çà et là brillait quelque étroite bande de cristal détachée de la banquise. Les animaux marins et les oiseaux des cieux s'assemblaient autour de nous et animaient les eaux calmes et l'atmosphère tranquille; les morses s'ébrouaient et mugissaient en nous regardant; sur notre pas-

sage, les phoques levaient leurs têtes intelligentes ; les narvales, en troupes nombreuses et soufflant paresseusement, émergeaient leur longue corne hors de l'eau, et leurs corps mouchetés dessinaient leur courbe gracieuse au-dessus de la mer, pour jouir du soleil; des multitudes de baleines blanches fendaient les ondes. Assis sur le pont, je passai de longues heures à essayer, sans beaucoup de succès, de rendre sur mon papier les splendides teintes vertes des icebergs qui voguaient près du navire, et à contempler un si merveilleux spectacle. Les cieux polaires sont de grands artistes en fantasmagorie magique. L'atmosphère était d'une rare douceur, et nous fûmes témoins d'un très-remarquable mirage, phénomène assez fréquent, du reste, pendant les beaux jours de l'été boréal.

L'horizon se doublait, pour ainsi dire ; les objets, situés à une très-grande distance au delà, montaient vers nous comme appelés par la baguette d'un enchanteur, et, suspendus dans les airs, changeaient de forme à chaque instant. Icebergs, banquises flottantes, lignes de côtes, montagnes éloignées, apparaissaient soudain, gardaient parfois leur contour naturel pendant quelques minutes, puis s'étendaient en long ou en large, s'élevaient ou s'abaissaient, selon que le vent agitait l'atmosphère, ou retombaient paisibles sur la surface des eaux. Presque toujours ces évolutions étaient aussi rapides que celles d'un kaléidoscope; toutes les figures que l'imagination peut concevoir se projetaient tour à tour sur le firmament. Un clocher aigu, image allongée de quelque pic lointain, s'élançait dans les airs; il se changeait en croix, en glaive; il prenait une forme humaine, puis s'évanouissait pour être remplacé par la silhouette d'un iceberg se dressant comme une forteresse. Les champs de glace prenaient l'aspect d'une plaine parsemée d'arbres et d'animaux; puis des montagnes déchiquetées et se dissolvant rapidement, nous laissaient voir une longue suite d'ours, de chiens, d'oiseaux, d'hommes dansant dans les airs et sautant de la mer vers les cieux.... Impossible de peindre cet étrange spectacle. Fantôme après fantôme venait prendre sa place dans le branle magique, pour disparaître aussi soudainement qu'il s'était montré.

Cette merveilleuse féerie se prolongea durant une grande partie de la journée, puis la brise du nord vint soulever les eaux, et la scène entière s'évanouit à son premier souffle, sans laisser plus de traces que la vision fantastique de Prospéro.

Ainsi le mirage se produit, avec une intensité différente, sous toutes les latitudes. Nous avons vu plus haut que le mirage latéral s'observe assez souvent à Paris dans les journées chaudes, et que le mirage supérieur, plus rare, y a également été observé.

Quand, au lieu de se produire dans les couches planes et régulières, les réfractions et les réflexions s'accomplissent dans des couches courbes et irrégulières, on a un mirage où les images sont déformées dans tous les sens, brisées ou répétées plusieurs fois, éloignées les unes des autres à des distances considérables. C'est ce qui arrive dans la fantastique vision aérienne, attribuée jadis à une fée, la *Fata Morgana*, qui attire quelquefois le peuple sur le rivage de la mer à Naples et à Reggio, sur la côte de Sicile. Le phénomène a surtout lieu le matin, à la pointe du jour, lorsque règne un calme complet.

Sur une étendue de plusieurs lieues, la mer des côtes de Sicile prend l'apparence d'une chaîne de montagnes sombres, tandis que

les eaux, du côté de la Calabre, restent complétement unies. Au-dessus de celles-ci on voit peinte, en clair-obscur, une rangée de plusieurs milliers de pilastres, tous égaux en élévation, en distance, et en degrés de lumière et d'ombre. En un clin d'œil ces pilastres perdent parfois la moitié de leur hauteur, et paraissent se replier en arcades et en voûte comme les aqueducs des Romains. On voit souvent aussi une longue corniche se former sur le som-

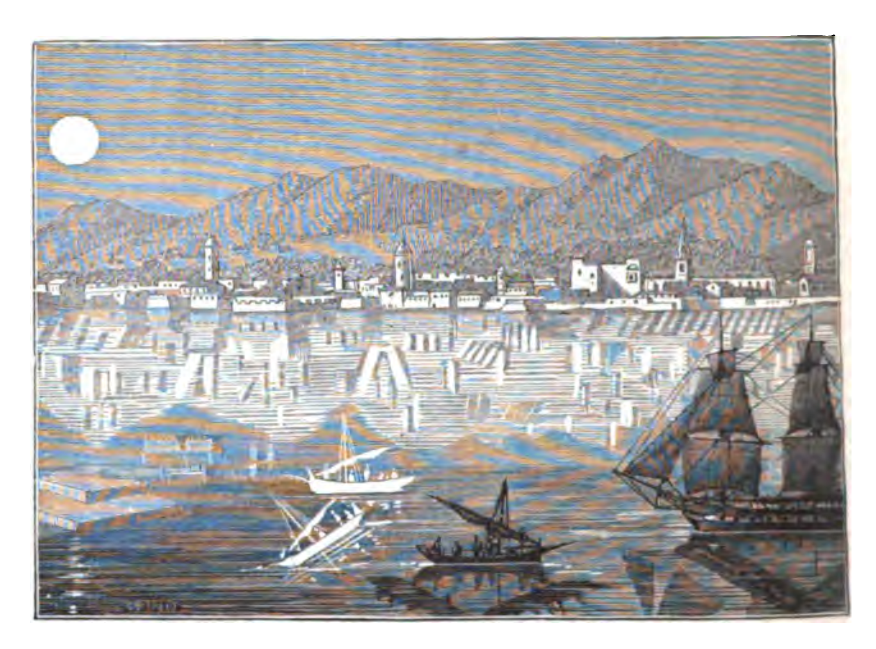


Fig. 89. — La Fata Morgana.

met, et l'on aperçoit une quantité innombrable de châteaux, tous parfaitement semblables. Bientôt ils se fondent, et forment des tours qui disparaissent aussi pour ne plus laisser voir qu'une colonnade, puis des fenêtres, et finalement des pins, des cyprès répétés aussi un grand nombre de fois.

Ces apparences fantastiques, on les a vues avec étonnement se produire tout dernièrement en Écosse, près d'Édimbourg même, les 16 et 17 juin dernier (1871), veilles d'un formidable orage. C'est là, à coup sûr, l'une des plus singulières espèces de mirage qui se puisse voir.

CHAPITRE IX.

ÉTOILES FILANTES.

BOLIDES, AÉROLITHES, PIERRES QUI TOMBENT DU CIEL.

Il n'est aucun de mes lecteurs qui, plus d'une fois, n'ait eté surpris, au milieu du calme profond d'une belle nuit étoilée, de voir une étoile détachée des cieux, glisser sur la voûte céleste et s'éteindre sans bruit. Peut-être quelques-uns de ceux qui liront cette page ont-ils eu le privilége beaucoup plus rare de voir non-seulement une *étoile filante,* mais un phénomène plus brillant d'un effet parfois très-émouvant : le passage d'un *bolide* enflammé traversant rapidement l'espace en répandant de tous côtés une étincelante lumière, globe de feu laissant une traînée lumineuse derrière lui et parfois éclatant par une explosion analogue à celle d'une fusée colossale, avec un tonnerre semblable à celui du canon. Peut-être aussi quelques-uns ont-ils pu, par un hasard plus heureux et plus rare encore, ramasser un fragment de l'explosion d'un bolide, une pièce tombée du ciel, un *aérolithe,* ou pierre descendue des hauteurs de l'Atmosphère.

Voilà trois faits distincts, et qui paraissent liés néanmoins entre eux par des rapports d'origine. Les progrès accomplis depuis quelques années dans l'étude particulière de ces météores nous invitent à les étudier nous-mêmes ici séparément, à nous occuper d'abord des Étoiles filantes, puis des Bolides, enfin des Aérolithes comme troisième objet de ce chapitre spécial.

Le premier point à examiner dans l'étude des étoiles filantes, c'est de mesurer la hauteur à laquelle elles se montrent. Deux

observateurs, placés en deux points éloignés l'un de l'autre, constatent chacun le trajet d'une étoile filante parmi les constellations. La ligne n'est pas absolument la même pour tous deux, à cause de la perspective. En calculant la différence on obtient la distance. C'est ainsi que, dès l'année 1798, deux étudiants allemands, Brandes et Benzemberg, avaient déjà opéré. Des dernières recherches faites sur ce point par Alexandre Herschel (petit-fils du célèbre William Herschel), par le professeur Newton, de Newhaven, qui se trouve précisément à Paris au moment où j'écris ce chapitre et vient de m'apporter ces derniers résultats, et par le P. Secchi, directeur de l'Observatoire de Rome, on conclut que la hauteur moyenne d'une étoile filante est de 120 kilomètres au commencement de son apparition et de 80 kilomètres, ou 20 lieues, à la fin de son passage visible.

La vitesse varie depuis 12 jusqu'à 70 kilomètres par seconde.

Toutes les nuits de l'année ne se ressemblent pas quant au nombre des étoiles filantes. Il résulte des observations, qu'il y a dans ce nombre des périodicités annuelles, mensuelles et diurnes.

On a remarqué, dès le siècle dernier, les grands flux d'étoiles filantes. Brandes rapporte que le 6 décembre 1798, se rendant à Brême dans une voiture publique, il en compta 480 par l'une des ouvertures de la diligence, et il estime d'après cela qu'il avait dû en paraître dans le ciel au moins 2000 pendant toute la nuit.

Au mois de novembre 1799, dans la nuit du 11 au 12, A. de Humboldt et Bonpland assistèrent à Cumana (Amérique) à une véritable averse d'étoiles filantes. Bonpland déclare qu'il n'y avait pas dans le ciel un espace égal en étendue à trois diamètres de la lune que l'on ne vît à chaque instant rempli d'étoiles filantes. Les habitants de Cumana étaient effrayés de ce phénomène; les plus anciens se souvenaient qu'un analogue s'était présenté, en 1766, accompagné d'un tremblement de terre.

Cette pluie d'étoiles de la fin du siècle dernier était un peu oubliée, lorsqu'une nouvelle averse fut observée en Amérique le 13 novembre 1833. Le professeur Olmsted, de Newhaven, s'appuyant sur des données qui lui avaient été transmises, porte à plus de 200 000 le nombre des étoiles filantes qui ont paru dans certains lieux pendant la nuit du 12 au 13 novembre.

Olmsted présenta le premier la remarque que la grande apparition de novembre devait être périodique et se reproduire tous les ans à la même époque. On constata, en effet, chaque année, vers les 12 et 13 novembre, un accroissement très-marqué dans

le nombre des étoiles filantes qui se montraient dans le ciel; mais cela était bien loin de reproduire le phénomène extraordinaire vu en Amérique en 1833. L'astronome Olbers écrivait à ce sujet, en 1837 : « Peut-être devrons-nous attendre jusqu'en 1867 avant de voir se renouveler le phénomène magnifique qui s'offrit à nos regards en 1799 et en 1833. » Cette prédiction hardie, nous l'avons vue entièrement réalisée un an plus tôt, en 1866.

Il résulte d'abord de l'ensemble des observations que le nombre des étoiles filantes qui paraissent habituellement dans toute l'é-



Fig. 90. — Pluies d'étoiles filantes des 12 et 13 novembre 1799, 1833 et 1866

tendue du ciel visible, pendant une heure, est en moyenne de 10 à 11. Or, au moment du maximum des 12 et 13 novembre, ce nombre horaire, égal à 50 en 1834, s'est abaissé progressivement d'année en année, pour se réduire à 30 en 1839, à 20 en 1844, à 17 en 1849; trois ou quatre ans plus tard, le maximum a disparu pour faire place à une apparition rentrant dans les conditions ordinaires de 10 à 11 par heure. Les choses sont restées dans cet état jusqu'en 1863, où un maximum de 37 étoiles filantes en une heure s'est présenté de nouveau à la même époque; ce maximum s'est élevé l'année suivante à 74 par heure et a servi

ainsi de précurseur à la grande apparition de 1866, par laquelle la prédiction d'Olbers s'est trouvée accomplie.

Un autre maximum a lieu le 10 août et a été observé par M. Quételet dès 1837. Le nombre horaire maximum d'étoiles filantes a été de 59 à cette date. Ce nombre s'est élevé progressivement à 72 en 1841, à 85 en 1845, et jusqu'à 110 en 1848; à partir de là il s'est abaissé peu à peu, d'année en année, pour se réduire à 38 en 1859; depuis cette époque il a éprouvé des alternatives d'augmentation et de diminution qui l'ont fait varier entre 37 et 67.

Voilà donc une variation *annuelle* bien constatée dans ces flux périodiques. Les observations de Coulvier-Gravier établissent clairement l'existence d'une variation *mensuelle*. Le nombre des étoiles filantes est plus grand en automne qu'au printemps.

Il y a également une variation *diurne*. Les nombres horaires vont en augmentant de 6 heures du soir à 6 heures du matin, dans la proportion du simple au double.

On voit des étoiles filantes dans toutes les parties du ciel; mais si l'on examine l'orientation des points d'où elles semblent venir, on trouve que les diverses parties de l'horizon n'en fournissent pas des quantités égales. Il y a encore, sous ce rapport, une variation qu'on désigne sous le nom de variation azimutale, et que les observations enregistrées avec soin ont fait complétement connaître. Il vient beaucoup plus d'étoiles filantes de l'est que de l'ouest, et il en vient à peu près autant du nord que du sud.

Ces variations s'expliquent par le mouvement de la Terre au sein d'un espace dans lequel circuleraient, dans tous les sens, un nombre considérable de corpuscules. Voici, en effet, le raisonnement très-simple exposé sur ce point par M. Delaunay, le nouveau et savant directeur de l'Observatoire de Paris.

Supposons d'abord que nous soyons placés au milieu de l'espace, et que des corps mobiles viennent vers nous, avec des vitesses égales, de toutes les directions possibles, sans qu'il en vienne plus d'un côté que de l'autre. Si nous sommes immobiles, de quelque côté que nous nous tournions, nous verrons toujours venir à nous le même nombre de ces corps mobiles dans un temps donné. Mais si nous sommes en mouvement, nous verrons ces mêmes corps arriver à nous en plus grand nombre des points de l'espace vers lesquels nous nous dirigeons, que des points directement opposés dont nous nous éloignons. Il y aura aussi une variation graduelle dans les différentes directions, à mesure que nous nous tournons de divers côtés.

Admettons que les étoiles filantes nous arrivent indistinctement de toutes les directions, et qu'elles aient toutes une même vitesse au moment où elles nous deviennent visibles. Le mouvement dont la Terre est animée sur son orbite annuelle doit amener des différences dans le nombre des étoiles filantes que nous

voyons venir de telle ou telle direction; ce nombre doit être maximum dans la direction vers laquelle la Terre marche, et minimum dans la direction opposée; il doit aller graduellement en diminuant de l'une à l'autre direction. Le point de la voûte céleste vers lequel est dirigée la vitesse de translation de la Terre, à un instant quelconque, constitue donc comme un centre principal d'émanation des étoiles filantes, pour les habitants de la Terre. D'ailleurs, en chaque point de la surface du globe, on ne peut évidemment voir que les étoiles filantes qui arrivent au-dessus de l'horizon du lieu; et le nombre de ces météores que l'on apercevra dans un temps donné variera avec la position que le centre principal d'émanation occupera par rapport à l'horizon; ce nombre sera d'autant plus grand que le centre d'émanation sera plus rapproché du zénith du lieu. D'un autre côté, en vertu du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même, le plan de l'horizon d'un lieu déterminé change continuellement de position dans l'espace; ce plan se place donc successivement de diverses manières par rapport au centre d'émanation dont nous venons de parler, de sorte que la fréquence d'apparition des étoiles filantes dans ce lieu doit varier constamment en vertu de cette circonstance.

D'après cela, la ligne de translation de la Terre étant toujours dirigée à angle droit sur la ligne qui joint la Terre au Soleil, le point de mire de la Terre sur la sphère céleste sera naturellement placé sur l'écliptique, et à une distance du Soleil égale au quart de la circonférence. Ce point de mire par conséquent parcourra annuellement le grand cercle de l'écliptique en faisant un arc de 90 degrés avec le Soleil. Lorsque le Soleil sera à l'équinoxe du printemps, le point de mire de la Terre se trouvera au solstice d'hiver; lorsque le Soleil arrivera au solstice d'été, le point de mire de la Terre atteindra l'équinoxe du printemps, et ainsi de suite.

Le point de mire, se déplaçant progressivement le long de l'écliptique, se trouve tantôt dans l'hémisphère boréal de la sphère céleste, tantôt dans l'hémisphère austral. Il doit donc y avoir des saisons pour les apparitions d'étoiles filantes, comme il y en a pour la quantité de chaleur et de lumière que le Soleil nous envoie. Seulement, le point de mire suivant le Soleil à une distance constante de 90 degrés, les saisons de plus grande apparition des étoiles filantes doivent venir trois mois après les saisons qui nous amènent le plus de chaleur et de lumière. Ces dernières allant de l'équinoxe du printemps (21 mars) à l'équinoxe d'automne (23 septembre), les saisons de plus grande apparition des étoiles filantes doivent aller du solstice d'été (22 juin) au solstice d'hiver (22 décembre).

Le mouvement diurne du point de mire l'amenant tantôt au-dessus de l'horizon, tantôt au-dessous de ce plan, dans l'intervalle de chaque jour solaire, il doit y avoir, dans l'apparition des étoiles filantes, une variation diurne provenant de cette circonstance; et comme le point de mire reste distant du Soleil d'un quart de circonférence, le centre d'émanation doit toujours précéder le midi ordinaire d'environ 6 heures : c'est donc vers 6 heures du matin que doit avoir lieu chaque jour le maximum de l'apparition des étoiles filantes, et vers 6 heures du soir que doit avoir lieu le minimum.

Enfin le point de mire dans son mouvement diurne ne se présentant pas d'une manière identique de tous les côtés de l'horizon, il doit y avoir une variation azimutale dans la fréquence d'apparition des étoiles filantes.

C'est principalement de l'est que les étoiles filantes doivent sembler venir, et c'est en effet ce que l'observation indique.

De ces observations on est autorisé à conclure que les étoiles filantes sont dues en effet à la rencontre que la Terre fait successivement d'un grand nombre de petits corps qui circulent dans

les espaces célestes, et qui viennent à nous de tous côtés avec des vitesses à peu près égales entre elles[1].

A la théorie explicative qui précède, il importe maintenant d'ajouter, pour nous rendre compte de la nature de ces flux d'étoiles, que ces petits corps errants ne nous viennent pas indistinctement de toutes les régions de l'espace. Il y a des directions particulières, signalées par les flux périodiques.

Aux moments des maxima, vers les 12 et 13 novembre et vers les 9 et 10 août, les étoiles filantes, au lieu de venir indifféremment de toutes les régions de l'espace, viennent presque toutes de directions déterminées : les unes, celles de novembre, partent de la constellation du *Lion;* les autres, celles d'août, émanent de la constellation de *Persée.*

Quelles sont les routes que suivent dans l'espace ces flux périodiques dont l'existence a été constatée?

Nous venons de voir que leur vitesse est celle de comètes arrivant vers la Terre des profondeurs de l'espace; leur orbite a pu être également assimilée aux orbites cométaires. M. Schiaparelli, directeur de l'Observatoire de Milan, a cherché à déterminer les éléments qui caractérisent la forme et la position de la parabole suivie par le courant météorique du 10 août. Puis, il a comparé ces éléments astronomiques à ceux que l'on obtient en calculant les orbites des diverses comètes. C'est ainsi qu'il a pu établir un rapprochement tout à fait inattendu entre l'orbite qu'il venait de trouver pour l'essaim des étoiles filantes du 10 août et celle de la grande comète observée en 1862.

En supposant que tous les 108 ans ces météores aient un maximum de fréquence qui ne soit pas si subit ni de si courte durée que celui de novembre, mais qui dure 20 ou 30 années, cette période s'accorde avec la durée de la révolution de la grande comète de 1862, et pourrait être regardée comme étant aussi celle des retours successifs de la comète à son périhélie.

1. D'après les caractères que présente la variation diurne, la vitesse des étoiles filantes dans l'espace est plus grande que celle de la Terre sur son orbite, et peu différente de la vitesse dont serait animée une comète qui, partant des profondeurs de l'espace, viendrait à passer près de la Terre.

Cette vitesse cométaire a pour valeur $\sqrt{2}$ ou 1,41, la vitesse de la Terre sur son orbite étant 1. La vitesse de la Terre étant de 29^{km},5 par seconde, on voit que les vitesses apparentes des étoiles filantes doivent présenter tous les états de grandeur entre un maximum de 71^{km} par seconde et un minimum de 12^{km}, ces vitesses apparentes allant en décroissant progressivement depuis la direction du point de mire de la Terre qui correspond au maximum, jusqu'à la direction opposée qui est celle du minimum.

L'ingénieux astronome de Milan a ensuite cherché les éléments de l'orbite de l'essaim d'étoiles filantes de novembre. Ici l'observation lui fournissait une donnée de plus : la période de retour des grandes apparitions de novembre, indiquée par Olbers dès 1837, venait d'être confirmée en 1866, et pouvait être fixée à 33 ans et une fraction. En traçant une ellipse dont le grand axe correspondait à cette durée autour du Soleil, il trouva que la durée de la révolution de cet essaim est de 33 ans $^{1}/_{4}$: c'est la même que celle de la comète de Tempel.

Un essaim d'étoiles filantes remarqué le 10 décembre décrit dans l'espace la même ellipse que la fameuse comète de Biéla, et l'essaim d'étoiles filantes remarqué le 20 avril se meut le long de l'orbite de la première comète de 1861.

De pareils résultats ont jeté une grande lumière sur la question des étoiles filantes. La comète qui suit dans l'espace la même route qu'un essaim doit être considérée comme faisant partie intégrante de cet essaim ; elle n'est autre chose qu'une concentration locale de la matière de l'essaim, concentration assez intense pour que l'amas de matière qu'elle forme soit visible même à de grandes distances de la Terre. Dans cette théorie, les étoiles filantes sont de même nature que les comètes ; elles consistent en de petits objets nébuleux qui se meuvent dans l'espace sans que nous puissions les apercevoir à cause de leur petitesse, et qui ne nous deviennent visibles que *lorsqu'ils pénètrent dans l'atmosphère* de la Terre. De même que les comètes, elles paraissent à l'état de *gaz*.

Un courant de ces météores qui rencontre l'orbite de la Terre en un point de son contour, et dont les diverses parties emploient plusieurs années à passer par ce point de rencontre, doit être traversé par la Terre chaque année à une même époque : de là les flux périodiques d'étoiles filantes qui se reproduisent d'année en année, avec une intensité variable, suivant le plus ou moins grand rapprochement des flocons de matière nébuleuse dans les diverses portions du courant que la Terre accoste successivement.

Telles sont les étoiles filantes. Faisons maintenant connaissance avec les *Bolides*.

Si les étoiles filantes sont gazeuses, il y aurait une distinction essentielle entre elles et les bolides, car le plus grand nombre de ceux-ci sont certainement solides.

Pour donner une idée du phénomène météorique de l'explosion d'un bolide, je citerai, parmi les chutes les plus récentes, une de jour et une de nuit, toutes deux de l'année 1868 :

Voici d'abord la chute de jour. Nous sommes dans l'arrondissement de Casale, en Piémont, le 29 février; le ciel est partiellement couvert, et il est dix heures et demie du matin. Tout à coup, on entend une forte détonation, que l'on pourrait comparer à la décharge d'une pièce d'artillerie de gros calibre, ou encore à l'éclat d'une mine. Elle est suivie, après un intervalle de deux secondes, d'une autre détonation résultant de deux détonations distinctes, qui se succédèrent de manière que la deuxième semblait être la continuation ou le prolongement de la première. Ces détonations furent entendues jusqu'à Alexandrie, à une distance de plus de 32 kilomètres. Le fracas durait encore, lorsqu'on aperçut, à une hauteur considérable au-dessus du sol, une masse de forme irrégulière et enveloppée dans une atmosphère de fumée, ce qui la rendait semblable à un petit nuage. Elle laissait derrière elle une longue traînée de fumée; d'autres virent distinctement et à une grande hauteur, non une, mais plusieurs taches semblables à de petits nuages, qui disparûrent presque à l'instant. Sur-le-champ, quelques laboureurs qui vaquaient à leurs travaux virent plusieurs blocs tomber précipitamment, et entendirent le fracas que ceux-ci faisaient en frappant le sol. Tous les témoins que l'on a pu interroger ont unanimement affirmé que le nombre de ces blocs était considérable, et qu'ils durent donner lieu à une véritable pluie d'aérolithes de toutes dimensions. Des paysans occupés à tailler les arbres dans un bois situé à 1200 mètres de Villeneuve, sur la grande route qui va de Casale à Vercelli, virent tomber, après ces détonations, comme une grêle de grains de sable; un de ces fragments, d'une grosseur assez notable, vint frapper le chapeau de l'un d'entre eux. Les aérolithes que l'on a trouvés sur le sol consistent en : 1° un morceau pesant 1920 grammes, qui est tombé dans un champ de froment, à 600 mètres au sud-est de Villeneuve, et s'est enfoncé de $0^m,40$ dans la terre; 2° un morceau pesant 6700 grammes, qui est tombé dans un champ ensemencé au nord de Villeneuve, à 2350 mètres du premier, et qui a pénétré de $0^m,37$ dans le sol; 3° les fragments nombreux dans lesquels s'est brisé un troisième morceau en tombant sur le pavé, devant une auberge de Molta dei Conti, à 3150 mètres du premier et à 3240 mètres du second.

Voici maintenant la chute de nuit, qui nous complétera l'idée de ces singuliers effets. Nous sommes dans les Basses-Pyrénées, dans l'arrondissement de Mauléon, le 7 septembre 1868, à $2^h\ 30^m$ du matin. Soudain, le ciel s'illumine par un météore qui pré-

sente l'aspect d'une boule incandescente laissant derrière elle une longue traînée de feu; il répand une vive clarté d'un vert pâle; sa durée a été évaluée de six à dix secondes. Avant de disparaître, il éclate en projetant des fragments enflammés et laissant à sa place un léger nuage blanchâtre qui persiste quelque temps. Cette apparition fut suivie d'un bruit continu semblable au roulement lointain du tonnerre, puis de trois ou quatre détonations d'une violence extrême, qui ont été entendues dans des points éloignés les uns des autres de plus de 80 kilomètres. A la suite de ces détonations les habitants de Sanguis-Saint-Étienne entendirent un bruit strident semblable à celui que fait un fer rouge plongé dans l'eau, puis un coup sourd indiquant la chute d'un corps solide sur le sol. Un corps solide était tombé, en effet, à Sanguis, et avait touché terre à 30 mètres environ de l'église, dans le lit d'un petit ruisseau. Il s'y était complétement brisé, à tel point que les plus gros fragments avaient à peine 5 centimètres de longueur. Cette chute a été constatée par deux hommes qui, s'étant attardés, prolongeaient encore leur entretien devant la porte de l'un deux; effrayés par les détonations et par le sifflement, ils se sont couchés à terre, et ont vu la pierre tomber devant eux à une vingtaine de mètres. Le poids de cette pierre peut être évalué à 3 ou 4 kilogrammes.

Ces deux exemples, que je choisis au milieu d'un grand nombre, donnent une idée suffisante de ces chutes du ciel, jadis regardées comme fabuleuses. Il n'y a guère plus d'un demi-siècle qu'on y croit, et que le fait a été scientifiquement constaté.

Contrairement aux étoiles filantes qui s'éteignent et se perdent dans les régions supérieures, les bolides traversent donc toutes les couches atmosphériques et viennent même souvent atteindre la surface de la Terre. C'est ce qui fait que le phénomène lumineux qui les accompagne prend habituellement à nos yeux une intensité beaucoup plus grande, parce que les régions où il se produit sont plus près. Mais vus de très-loin, comme il arrive pour ceux que la direction de leur mouvement ne fait pas pénétrer profondément dans l'atmosphère, les bolides doivent nous présenter des apparences identiques à celles des étoiles filantes.

Lorsqu'ils pénètrent ainsi, il se produit souvent une explosion, simple ou multiple, suivie dans un grand nombre de cas d'une chute de fragments du bolide, détachés de sa masse par le fait de l'explosion. Les bolides sont donc des corps solides comme les fragments qui s'en détachent.

Tantôt on a trouvé, pour les orbites décrites par les bolides

dans leur mouvement par rapport à la Terre, des ellipses de dimensions très-restreintes, qui conduisaient à ne voir dans ces bolides autre chose que des satellites de la Terre, visibles seulement pendant la durée de leur passage à travers l'Atmosphère (voir à ce sujet les recherches de Petit, de Toulouse) : tantôt, au contraire, on a trouvé pour ces orbites des arcs d'hyperbole, presque rectilignes, parcourus avec des vitesses considérables, ce qui tendrait à faire admettre que les bolides animés de pareils mouvements viendraient des espaces stellaires d'où ils seraient partis avec des vitesses également très-grandes.

Les *aérolithes* sont des minéraux tombés du ciel sur la terre, et provenant de l'explosion d'un bolide.

Quelquefois ils s'enfoncent profondément dans le sol sur lequel ils tombent. Ainsi l'île de Lanaïà-Lawaï possède un aérolithe de 6 à 7 mètres de diamètre, qui est resté enfoncé dans le sol malgré les tentatives faites pour le ramener à la surface. Cet aérolithe est tombé là au commencement du siècle. Récemment, le 9 mars 1868, à 9 heures et demie du soir, un autre bolide est tombé sur la même île, semblant sortir de la montagne de Lahakala haute de 3070 mètres, et allant de l'est à l'ouest.)

Si l'on veut toucher ces pierres immédiatement après leur chute sur la Terre, on les trouve brûlantes; mais elles se refroidissent avec une grande rapidité : ce qui indique que la température un peu élevée qu'on leur a trouvée tout d'abord était toute superficielle, et ne s'étendait pas à leur masse entière.

Quant à la forme de ces aérolithes, elle n'est ni celle de boules plus ou moins parfaites, ni celle de morceaux à surfaces arrondies, mais plutôt celle de polyèdres grossiers à faces et arêtes plus ou moins irrégulières. Les parties à peu près planes de leur surface présentent souvent des creux analogues à ceux que produit la pression d'un corps rond sur une matière à l'état pâteux. Ils sont d'ailleurs recouverts partout d'une croûte noire, ordinairement mate, quelquefois luisante comme un vernis, dont l'épaisseur ne va pas à 1 millimètre.

La lumière qui se manifeste dans le mouvement des bolides est due uniquement *à la chaleur dégagée par la compression de l'air.*

Voyons comment peuvent se produire les phénomènes d'explosion et de chutes d'aérolithes qui en sont souvent la suite.

La compression énorme de l'air refoulé par le bolide ne peut avoir lieu sans que cet air réagisse sur la partie antérieure de la surface de ce corps, et exerce sur elle une pression considérable.

En attribuant au bolide une vitesse de 7 kilomètres par seconde, ce qui est loin d'être exagéré, M. Haidinger évalue à plus de 22 atmosphères la pression résistante que ce bolide éprouve de la part de l'air. Une pareille pression tend évidemment à écraser le corps qui en est l'objet; et si ce corps, en vertu de sa forme ou de sa constitution intime plus ou moins irrégulières, présente des parties qui donnent plus de prise que le reste à l'action d'une aussi grande pression, elles peuvent céder et se détacher brusquement



Fig. 91. — Chute d'un bolide pendant le jour.

de la masse du bolide. Lancées, comme nous venons de le dire, par l'expansion de l'air comprimé, et cela en sens contraire du mouvement qu'elles partageaient quelques instants auparavant avec le reste de la masse du bolide, ces parties fragmentaires perdent à peu près complétement la vitesse considérable dont elles étaient animées; et elles arrivent à la surface de la Terre avec des vitesses très-grandes encore, il est vrai, mais qui ne sont que celles de corps tombant d'une grande hauteur.

Nous sommes portés à regarder les bolides comme ayant une certaine communauté d'existence et d'origine avec les planètes qui

circulent en si grand nombre autour du Soleil, et comme faisant probablement partie eux-mêmes de notre système planétaire. D'ailleurs, la découverte qu'on a faite dans ces derniers temps, d'un nombre considérable de planètes de dimensions extrêmement petites, nous porte à croire qu'il en existe une multitude d'autres plus petites encore qui échappent à l'observation.

En présence des grandes difficultés qu'on rencontrait à attribuer aux bolides une origine purement terrestre, on avait depuis longtemps émis l'idée qu'ils pourraient bien n'être autre chose que des pierres lancées vers la Terre par les *volcans de la Lune*. Cette idée avait été reprise et développée, en 1795, par Olbers, puis au commencement de ce siècle par Laplace, Lagrange, Poisson, Biot; mais des objections sérieuses et de plus d'un genre n'ont pas tardé à se présenter contre cette manière de voir, et l'on a fini par l'abandonner, pour adopter, d'après Chladni, le système qui consiste à considérer les bolides comme étant des corps qui errent librement dans l'espace et qui viennent de temps à autre pénétrer dans l'atmosphère de la Terre.

Quoi qu'il en soit du rôle que jouent réellement les bolides dans l'univers, la possibilité que nous avons d'examiner les fragments qu'ils nous abandonnent en passant ici, est pour nous extrêmement précieuse par les renseignements que nous pouvons en tirer sur la constitution et la nature intime des corps étrangers au globe que nous habitons. Aussi se préoccupe-t-on beaucoup, surtout depuis quelques années, de recueillir de tous côtés les pierres tombées du ciel lors des explosions des bolides; et l'on forme des collections de cette catégorie spéciale de roches auxquelles, pour les distinguer des roches terrestres, on attribue la dénomination spéciale de météorites. Il existe, dans diverses localités, de belles et importantes collections de ce genre. Nous citerons notamment celle du Muséum d'histoire naturelle, à Paris; celle du Musée Britannique à Londres; celle du Musée minéralogique à Vienne. La collection de Paris, qui a pris un si rapide développement sous l'habile direction de M. Daubrée, renferme actuellement des échantillons de 240 chutes, c'est-à dire de la presque totalité des chutes connues, car le nombre de celles qui sont représentées dans les diverses collections ne dépasse pas 255.

On s'explique facilement que des incendies aient été allumés par des chutes d'aérolithes, et l'on conçoit sans peine que, sur le grand nombre de chutes, plusieurs hommes aient été tués directement. On connaît 14 morts de cette nature.

Les plus grosses pierres tombées du ciel sont les suivantes :

L'aérolithe tombé à Juvénas (Ardèche), le 15 juin 1821 ; il pèse 92 kilogrammes, sans compter les fragments qui s'en sont détachés.

L'aérolithe trouvé au Chili, entre le Rio-Juncal et Padernal, dans la haute Cordillère d'Atacama. Il pèse 104 kilogrammes, a la forme d'un cône et mesure 48 centimètres de long sur 20 de diamètre. Les mineurs qui l'ont rapporté sur leurs mules l'avaient pris pour un bloc d'argent. On a pu l'admirer à l'Exposition universelle de 1867.

La pierre météorique de Murcie, qui appartient au musée des sciences naturelles de Madrid, pèse 114 kilogrammes.

L'aérolithe qui tomba, en 1492, à Ensisheim (Haut-Rhin), à la vue de Maximi-

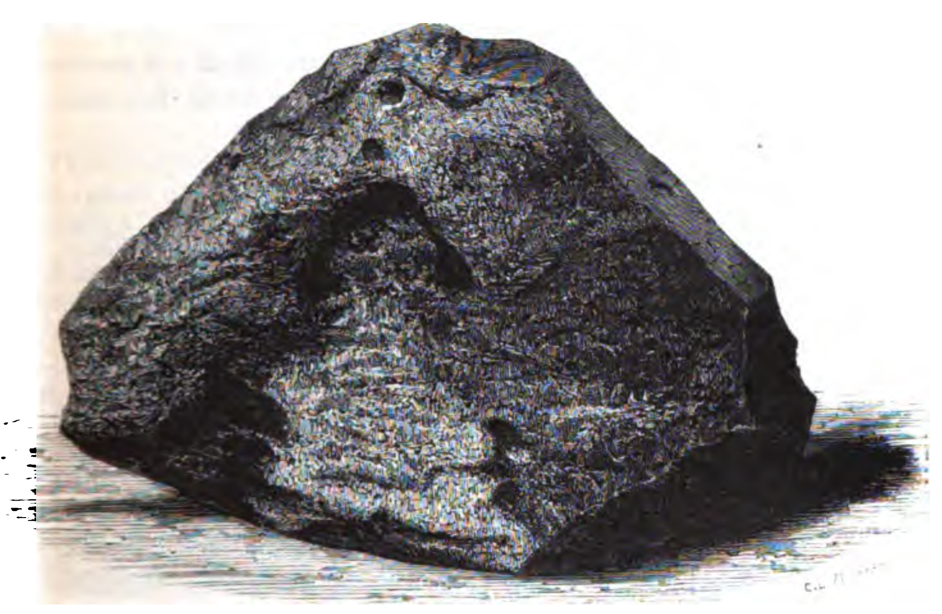


Fig. 92. — Aérolithe de Caille, pesant 625 kilogrammes.

lien Ier, roi des Romains, pèse 138 kilogrammes. Il s'est enfoncé de cinq pieds ; il fut longtemps vénéré dans l'église comme un objet miraculeux.

L'aérolithe tombé le 25 décembre 1869, à Mourzouk (latitude, 26° N.; longitude, 12° E. de Paris), au milieu d'un groupe d'Arabes fort effrayés, doit peser davantage encore, car il mesure près de 1 mètre de diamètre. On doit le transporter cette année à Constantinople, et malheureusement il a été question de le diviser pour le transporter.

Mais aucun n'égale encore ceux-ci :

L'aérolithe de Caille (Alpes-Maritimes), qui servait de banc à la porte de l'église et est maintenant au Muséum, pèse 625 kilogrammes. C'est celui que représente notre figure 92.

L'aérolithe tombé en 1810, à Santa-Rosa (Nouvelle-Grenade),

dans la nuit du 20 au 21 avril, pèse 750 kilogrammes. Lorsqu'on le découvrit, il était presque entièrement enfoncé dans le sol par la force de sa chute.

Enfin, la plus colossale des pierres tombées du ciel et connues jusqu'ici est l'aérolithe rapporté de la campagne du Mexique et qui ne pèse pas moins de *sept cent quatre-vingts kilogrammes*. Il existait depuis un temps immémorial à Charcas. Sa forme est celle d'un tronc de pyramide triangulaire, mesurant 1 mètre de hauteur sur 47 centimètres. C'est un échantillon respectable du monde qui nous l'a expédié.

Il résulte de plusieurs centaines d'analyses dues aux chimistes les plus éminents, que les météorites n'ont présenté aucun corps simple étranger à notre globle. Les éléments qu'on y a reconnus avec certitude jusqu'à présent sont au nombre de 22. Les voici, à peu près suivant leur quantité :

Le fer en constitue la partie dominante; puis viennent :
Le magnésium; — le silicium; — l'oxygène; — le nickel, qui est le principal compagnon du fer; — le cobalt; — le chrôme; — le manganèse; — le titane; — l'étain; — le cuivre; — l'aluminium; — le potassium; — le sodium; — le calcium; — l'arsenic; — le phosphore; — l'azote; — le soufre; — des traces de chlore, — et enfin du carbone et de l'hydrogène.

Remarquons à ce propos avec M. Daubrée que les roches qui offrent de tels traits de ressemblance avec les météorites appartiennent toutes aux régions profondes du globe. Ce sont des masses éruptives, de nature basique, ou des laves, ou des roches péridotiques dont le réservoir est situé au-dessous de l'assise granitique.

D'après l'étude des aérolithes, et surtout l'examen comparatif de leurs densités, M. Daubrée a pu (*Journal des Savants*, mai 1870 rétablir théoriquement la planète brisée dont ils paraissent des fragments, car ils en représentent en quelque sorte le noyau morcelé (densité 3 à 8) et rien de l'écorce extérieure. On est porté par ces considérations à voir dans cet état fragmentaire la destinée ultérieure de toute planète, lorsque les conditions de la vie, la chaleur, l'humidité, n'existent plus dans son sein. Ainsi dans notre système planétaire nous aurions les documents de la véritable Histoire universelle. Le Soleil représente la période d'incandescence primitive, la Terre la période du règne de la vie, la Lune la décadence, et les aérolithes la fin des mondes.

CHAPITRE X.

LA LUMIÈRE ZODIACALE.

Pour compléter notre panorama des phénomènes optiques du ciel, nous donnerons maintenant notre attention à cette clarté nocturne qui illumine vaguement les hauteurs de l'Atmosphère pendant certaines nuits transparentes. Comme celle des étoiles filantes et des bolides, son origine vient des profondeurs de l'espace, et son explication appartient déjà à l'astronomie; mais en se révélant dans notre ciel, cette lumière météorique nous invite à l'examiner un instant ici.

Après le coucher du soleil dans les mois de janvier, février, mars et avril, et avant le lever de cet astre dans le mois de novembre, la voûte céleste présente parfois une bande de lumière inclinée à l'horizon, et couchée dans le zodiaque, c'est-à-dire dans la route apparente que, par son déplacement annuel, le soleil nous semble tracer sur le ciel. Cette lumière n'a pas été remarquée par les anciens, et la découverte en est due à Childrey, qui en parle dans son *Histoire naturelle d'Angleterre,* publiée vers 1659. Mais les premières recherches scientifiques faites sur ce phénomène ne remontent qu'à 1683 et sont dues à J. D. Cassini.

Lorsque la lumière zodiacale commence à apparaître, le soir après le coucher du soleil, elle se mêle près de l'horizon aux dernières traces de la lueur crépusculaire, et la réunion de ces deux lumières offre l'aspect d'un cône à côtés convexes. Ce cône incliné, du moins dans nos climats, a sa base sur l'horizon, et son sommet à une certaine hauteur au-dessus.

Vers l'équateur cette clarté perd rapidement son aspect conique à mesure que les dernières traces du crépuscule disparaissent,

et quand la nuit close est arrivée, on distingue une bande de lumière faisant le tour entier du ciel et rendant, pour ainsi dire, le zodiaque lumineux. Parfois cette bande est visible, sans interruption, depuis le coucher jusqu'au lever du soleil. Les portions les plus rapprochées de la place du soleil dépassent en éclat l'intensité de la voie lactée; les autres parties sont faibles, et si on les aperçoit dans la zone intertropicale c'est grâce à la grande limpidité de l'Atmosphère dans ces régions.

La lumière zodiacale, quand on peut la bien voir, comme dans la zone intertropicale, est l'un des plus beaux phénomènes célestes. Sa couleur est d'un blanc pur.

Quelques observateurs en Europe ont cru quelquefois lui reconnaître une teinte rougeâtre. Cette teinte n'a rien de réel; si elle existait, ce serait entre les tropiques qu'on la distinguerait le mieux, car la coloration devient toujours de plus en plus sensible avec l'intensité. On a confondu avec elle les dernières traces du crépuscule. Sous les tropiques mêmes, aux mois de janvier et de février pour le tropique du Cancer, elle se dresse perpendiculairement à l'horizon. Alors, quand la nuit close est arrivée, on voit s'élever à l'occident une belle colonne blanche verticale dont l'axe central atteint et dépasse même en intensité les parties les plus brillantes de la Voie lactée. Sur les bords de cette colonne, la lumière va en se fondant doucement avec la faible lueur du ciel. Elle se distingue en cela de la Voie lactée dont les bords en certains points présentent une opposition de lumière notable avec le fond général, comme dans le trou noir de la Croix du sud, nommé sac à charbon.

Elle n'est pas visible en Europe pendant l'été. Cela tient à sa position inclinée sur l'horizon sud que rase alors la partie du zodiaque visible la nuit, et à la longueur des crépuscules. C'est en février que les conditions de son apparition sont le mieux réunies. Dans les contrées chaudes, le peu de durée des crépuscules et la position toujours élevée de l'écliptique permettent d'observer le phénomène pendant toute l'année. Il y a toutefois des périodes de maximum de beauté, qui répondent toujours aux positions du soleil pour lesquelles le zodiaque, après le coucher de cet astre ou avant son lever, s'élève de l'horizon de manière à approcher le plus possible du zénith.

Les observations de Cassini et de Mairan, qui ont vu quelquefois la lumière zodiacale jusqu'à plus de 100° du soleil, avaient indiqué depuis longtemps que ce beau phénomène s'étend au delà

de l'orbite terrestre. Humboldt et Brorsen avaient aussi signalé un filet lumineux unissant le phénomène de l'Est à celui de l'Ouest.

Examinons maintenant quelle est la nature de cette nébulosité qui environne le Soleil. Plusieurs astronomes du dernier siècle ont pensé qu'elle n'était autre que l'atmosphère de cet astre, laquelle s'étendrait à une immense distance dans le sens de son équateur. En partant de considérations géométriques, Laplace a fait voir que cette hypothèse n'est pas admissible, et que l'atmosphère solaire ne peut pas s'étendre au delà de la limite à laquelle la force centrifuge due à la rotation ferait équilibre à l'attraction du soleil. Dans mes calculs relatifs à la loi du mouvement de rotation des corps célestes, j'ai trouvé que c'est à une distance du Soleil égale à 36 fois son demi-diamètre que la force centrifuge développée par sa rotation égale la pesanteur des dernières particules atmosphériques vers lui. Il est mathématiquement impossible que l'atmosphère solaire s'étende au delà. Ce n'est pas la moitié de la distance de Mercure au Soleil, et ce n'est que la 6e partie de la distance à laquelle gravite la Terre, car nous sommes éloignés à 214 fois le demi-diamètre de l'astre gigantesque qui nous éclaire. Donc la lumière zodiacale qui s'étend au delà de l'orbite terrestre n'est pas une atmosphère du Soleil.

Les physiciens ont reconnu que toutes les lumières réfléchies, ou, en d'autres termes, les lumières empruntées, ont acquis les propriétés particulières à la polarisation; mais que toutefois ces propriétés peuvent se trouver dissimulées dans le cas où la réflexion provient non d'un gaz ou d'une surface continue, mais d'une série de particules distinctes, comme dans les nuages, par exemple, qui sont composés de globules d'eau.

La lumière zodiacale n'étant pas polarisée, il en résulte ou que cette lumière n'est pas réfléchie et vient directement d'une matière lumineuse par elle-même, ou, si elle provient du Soleil, qu'elle résulte de la réflexion de la lumière de cet astre par une multitude de corpuscules n'ayant entre eux aucune connexion, mais obéissant comme toute matière aux lois de la gravitation universelle, c'est-à-dire circulant autour du Soleil en décrivant des orbites elliptiques comme les planètes ou les comètes. Or, si la lumière zodiacale provenait d'une matière lumineuse par elle-même, la propriété d'être lumineuse n'empêcherait pas cette substance de réfléchir en outre une certaine quantité de lumière solaire, de telle sorte qu'on apercevrait des traces de polarisation dans la lumière zodiacale, du moment où elle ne serait pas com-

posée de corpuscules distincts. Donc, dans tous les cas, nous pouvons regarder comme un fait démontré qu'elle est due à des corpuscules sans connexion entre eux et circulant suivant les lois de la gravitation autour du Soleil qui les éclaire. Vu la faible intensité de la lueur qu'ils répandent, il est peu probable qu'ils possèdent en outre aussi une lumière propre.

Nous venons de voir, dans le chapitre précédent, que des tourbillons de petites masses gazeuses circulent autour du Soleil, et donnent naissance aux étoiles filantes lorsqu'elles rencontrent la planète terrestre sur leur passage. Nous avons vu également que les bolides et les aérolithes donnent le témoignage évident et palpable de de l'existence d'une quantité de matériaux cosmiques en fragments minuscules disséminés dans l'espace planétaire. En réunissant ces diverses données de l'astronomie contemporaine, nous arrivons à penser que le système planétaire ne se compose pas seulement des grands corps célestes que nous avons coutume de considérer, mais encore de pièces innombrables circulant autour du Soleil suivant l'ellipse de Képler, et distribuées surtout dans le sens du zodiaque, comme les corps principaux. La meilleure hypothèse que nous puissions donner aujourd'hui de la lumière zodiacale, c'est donc de voir en elle l'image de ces innombrables corpuscules gravitant dans le plan zodiacal comme une immense nébulosité lenticulaire.

Mon collègue et ami E. Liais, qui déjà, il y a dix ans, avant la théorie cométaire des étoiles filantes, a indiqué cette connexion probable, ajoutait, d'après l'opinion de Mayer et de plusieurs physiciens célèbres, que cette lumière aurait pour nous une importance plus grande encore, car elle ne serait rien moins que la cause de la chaleur et de la lumière du Soleil. Quelques-uns des corpuscules dont elle est composée tomberaient sans cesse à la surface de cet astre, par suite de l'action des planètes qui les dérangeraient de leurs orbites. Là, leur vitesse s'anéantirait en se transformant en chaleur, comme il arrive toujours dans les frottements qui détruisent les vitesses. Échauffée par ces chutes, l'atmosphère solaire atteindrait une température qui la rendrait lumineuse, dans sa région moyenne surtout. C'est en effet dans cette région moyenne que s'opérerait la plus grande distribution de mouvement, car les couches supérieures, vu leur faible densité, s'échaufferaient à un moindre degré, et les couches inférieures ne recevraient que des corpuscules déjà réduits en poussière ou en vapeur et dont la vitesse aurait été presque complétement anéantie dans la région moyenne.

La théorie de Mayer explique facilement pourquoi le Soleil est plus chaud à son équateur qu'à ses pôles. En effet, la lumière zodiacale forme un anneau aplati dont la grande dimension coïncide presque avec le plan de l'équateur solaire.

La même théorie explique aussi facilement la périodicité des taches solaires. En effet, les corpuscules de la lumière zodiacale, obéissant aux lois de la gravitation, ne peuvent tomber dans le



Fig. 93. — La lumière zodiacale.

Soleil que par l'effet de leurs perturbations planétaires. Il doit donc exister dans leurs chutes des périodes dépendant des révolutions de toutes les planètes, et surtout de celle de la plus puissante d'entre elles, Jupiter. Cette variation périodique des chutes donne lieu à une variation semblable de la quantité de chaleur produite et par conséquent à une périodicité des taches et des facules — périodicité de onze années environ.

D'un autre côté, les corpuscules en entrant dans l'atmosphère solaire doivent y développer de l'électricité, par suite de leurs frottements contre les particules solides ou liquides de la photosphère: ce qui explique la curieuse relation remarquée entre la période des taches du Soleil et celle des variations diurnes de la boussole à la surface de la Terre, variations provenant du magnétisme solaire.

Il est possible que les aérolithes, au nombre de milliards de milliards, distribués dans toute l'étendue du système planétaire, et principalement dans le plan général du mouvement, c'est-à-dire dans le plan du zodiaque, les bolides, les étoiles filantes, corpuscules solides ici, liquides là, gazeux plus loin, ne forment qu'une même espèce générale de corps célestes fragmentaires; que la zone dans laquelle ils gravitent principalement se manifeste à nous par la réflexion vague de la lumière solaire et constitue la lumière zodiacale; et qu'en tombant sur l'astre radieux ces corpuscules soient l'origine des taches et servent à entretenir la chaleur de l'immense foyer, allumé sans doute par une force chimique toujours renouvelée aussi : la dissociation.

Si ce tourbillon de corpuscules ne circule pas autour du Soleil même, ce qui n'est pas encore prouvé, il circule autour de la Terre, et peut-être de loin fait-il l'effet de l'anneau de Saturne.

L'apparition de la lumière zodiacale est assez rare en France : on ne la voit guère distinctement qu'une fois ou deux chaque année, et c'est en février. Elle s'est montrée à Paris avec une intensité très-remarquable le 20 février dernier (1871), et je l'ai observée attentivement pendant toute sa durée ($6^h,50^m$ à $7^h,30^m$). Sous la forme de fuseau qu'elle revêt toujours, elle mesurait 18 degrés de largeur à sa base, à l'horizon, et, s'élevant obliquement le long du zodiaque, se terminait en pointe avant d'atteindre les Pléiades. De la place du Soleil, couché depuis une heure et demie, à l'extrémité du fuseau, elle mesurait 86 degrés de longueur totale; sa partie visible au-dessus de l'horizon mesurait 63 degrés.

L'appréciation de son intensité a été d'autant plus facile que l'atmosphère de Paris était à peine éclairée, en raison de l'absence du gaz. Calme et immobile, cette lumière était bien différente des lueurs palpitantes de l'aurore boréale. Le fuseau était beaucoup plus intense dans sa région médiane que sur ses bords, et beaucoup plus à sa base que vers sa pointe. La teinte, environ une demi-fois plus brillante que celle de la Voie lactée, était un peu plus jaune. Les plus petites étoiles étaient perceptibles à travers ce voile, tandis que dans l'aurore boréale du 24 octobre précédent, les brillantes de la Grande-Ourse avaient été éclipsées.

Le ciel se voila peu à peu, et à 8 heures des nuages empêchèrent de suivre l'abaissement du cône lumineux vers l'horizon. Le lendemain 21, le ciel fut couvert après le coucher du soleil; et, à partir du 22, la clarté du croissant lunaire s'opposa à toute observation. (J'en ai donné la description dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* du 27 février 1871.)

CHAPITRE XI.

ACTION GÉNÉRALE DE LA LUMIÈRE DANS LA NATURE.

Nous venons d'assister aux jeux variés de la Lumière dans le monde atmosphérique, et, en disséquant les phénomènes optiques, nous nous sommes rendu compte de leur mode de formation et de leur nature. Ce panorama général des œuvres de la Lumière serait incomplet si nous ne pénétrions un instant dans la fonction grandiose et profonde de cet agent sur la vie terrestre tout entière. Car la Lumière est la force qui soutient dans l'infini la splendeur de cette vie, elle est le charme et la parure de la terre, elle est pour nous le premier élément de toute existence; mais les jeux que nous venons de saluer ne sont encore que des sourires passagers sur ce visage toujours ami qui du haut des cieux laisse les rayons de son regard illuminer ce monde obscur. Sans elle, le globe roulerait dans les ténèbres d'une nuit inféconde et glacée; avec elle, tout se meut dans la joie et dans l'éternelle vie.

Il y a des mondes qui ne sont point gratifiés de cette divine lumière blanche à laquelle la nature terrestre doit son infinie variété de couleurs, de nuances et d'aspect; il y a des mondes éclairés par des soleils verts sans autre teinte, par des soleils rouges, ne donnant à leurs campagnes que cette seule couleur; par des soleils bleus, violets, ne versant à leur surface que des rayons toujours colorés de la même teinte. D'autres mondes sont éclairés par deux ou *trois* soleils à la fois, brillant chacun d'une couleur propre et se succédant ou se rassemblant sur l'horizon. Le spectacle du ciel nous montre ainsi, par comparaison, que sur cette terre, toutefois, quelque modeste qu'elle soit d'ailleurs, nous ne sommes pas les

moins privilégiés, puisque notre soleil blanc nous dispense toutes les variétés possibles de la lumière multicolore.

La force lumineuse répandue par l'éclatant Soleil dans l'Atmosphère terrestre règne en souveraine sur la planète à laquelle elle distribue ses saisons et ses jours ; elle tisse de ses mains délicates le léger et tendre organisme des plantes, et c'est surtout son action sur le monde végétal qui doit commander ici notre attention.

Nous pourrions nous intéresser à mettre en évidence ici l'esthétique du règne de la Lumière sur la nature animée : voir les fleurs douces et inconscientes, se tourner instinctivement vers le jour comme l'enfant au berceau, et se donner en modèles à l'humanité consciente qui trop souvent ne se sert de sa volonté que pour reculer vers les ténèbres; nous pourrions assister au sommeil et au réveil des plantes, admirer leur incroyable énergie pour habiter dans la clarté, et nous inspirer de l'exquise souveraineté de cette puissance sur la nature entière. Mais le spectacle le plus important à considérer ici, c'est d'apprécier le mieux possible les *quantités de travail* représentées par l'action permanente de cet agent dans l'Atmosphère sur les plantes.

La Lumière est indispensable à la vie végétale, et si certaines plantes peuvent croître pendant quelque temps dans l'obscurité, elles sont languissantes et étiolées, et ne peuvent parcourir les différentes phases de leur existence.

Les éléments les plus essentiels qui constituent les plantes sont le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, auxquels on peut joindre l'azote, si l'on fait abstraction des substances telles que le silicium, le phosphore, le soufre, ainsi que des bases, comme la potasse, la soude, la chaux, etc., qui ne s'y trouvent qu'en faibles proportions. Ces quatre substances se rencontrent dans l'Atmosphère ; les trois dernières sont fixées dans les plantes, lors du mouvement de la sève, par des réactions chimiques dont nous n'observons que le résultat final; le carbone est fourni par l'acide carbonique de l'air, et c'est la lumière qui détermine l'action en vertu de laquelle il s'accumule dans les végétaux.

D'après les expériences faites par M. Boussingault du mois de juin au mois d'août 1865, entre huit heures du matin et cinq heures du soir, dans des atmosphères riches en acide carbonique, 1 mètre carré de feuilles de laurier a donné en moyenne par jour :

à la lumière, acide carbonique absorbé, 1 litre 108;
à l'obscurité, id. dégagé, 0 — 070.

Le rapport des deux quantités est à peu près celui de 16 à 1, c'est-

à-dire qu'avec ces feuilles la décomposition de l'acide carbonique à la lumière a été seize fois plus vive en moyenne que l'émission de ce gaz à l'obscurité.

En analysant une certaine quantité de feuilles avant l'insolation, puis une même quantité après, c'est-à-dire en dosant tous les éléments de la plante, on trouve que sous l'action de la lumière il y a sensiblement autant d'oxygène émis que d'acide carbonique éliminé.

En analysant complétement des quantités équivalentes de feuilles avant et après l'insolation, ainsi que l'atmosphère dans laquelle elles se trouvaient, on a constaté que dans l'action de la lumière sur les feuilles il n'y a ni absorption ni émission d'azote.

Il résulte de là que dans l'action lumineuse l'azote de l'air ne se fixe pas dans les feuilles, et que celui qui se trouve assimilé aux végétaux provient des composés ammoniacaux ou des matières transportées dans le végétal pendant la circulation de la séve.

La lumière détermine la coloration verte des feuilles et des tiges; les autres parties du tissu végétal, telles que les fleurs aux teintes si variées et si riches, et les fruits eux-mêmes, ne doivent aussi leur couleur qu'à son action. On pourrait dire que toutes les nuances végétales sont produites par elle, soit en vertu d'une action directe exercée par les rayons lumineux, soit en raison d'effets secondaires, c'est-à-dire de réactions qui se passent dans les tissus végétaux pendant l'acte de la végétation, car, par exemple, beaucoup de fleurs sont colorées au moment où elles s'épanouissent. L'enveloppe des fruits donne lieu, comme les fleurs, à des effets de coloration sous l'influence de la lumière. On sait en effet que les couleurs rouges des pêches ne sont dues qu'à cette influence, ainsi que ces tons jaunes et rouges des pommes, du raisin et d'un grand nombre de fruits.

Il en est de même dans le règne animal. La vivacité des couleurs des plumes des oiseaux et de la fourrure des bêtes fauves va en décroissant des tropiques aux régions polaires. L'homme des champs est bronzé; le citadin reste pâle; le prisonnier offre à la pitié publique un teint languissant et décoloré.

Il est très-remarquable de voir que c'est par suite de la présence d'une très-petite quantité d'acide carbonique dans l'Atmosphère et dans le sol végétal, que l'assimilation du carbone a lieu à la surface de la terre. Si l'on s'en tient à l'Atmosphère seule, on estime en moyenne à $\frac{1}{10000}$ du volume de l'air le volume du gaz acide

carbonique qui existe à un moment donné dans l'enveloppe gazeuse de la terre. En supposant que l'acide carbonique soit répandu partout en même proportion, comme le poids de l'Atmosphère équivaut au poids d'une couche d'eau de 10 mèt. 33 cent. répandue sur la surface de la Terre, le poids du carbone contenu dans l'acide carbonique existant dans l'air équivaut à celui d'une couche de houille, supposée en carbone pur, qui aurait 1 millimètre $\frac{1}{4}$ d'épaisseur et qui envelopperait le globe. Cette quantité est très-minime, et cependant c'est elle qui fournit le carbone qui se fixe à chaque instant dans les végétaux. On doit ajouter que la perte de l'acide carbonique est compensée à chaque instant par les quantités du même gaz que le sol peut émettre lors de la décomposition des matières organiques, ainsi que par l'acide carbonique qui provient de la respiration des animaux.

On peut avoir une idée de la quantité de travail déterminée par l'action de la lumière solaire sur la végétation et dont on pourrait trouver l'équivalent lors de la combustion des végétaux, en évaluant la quantité de carbone fixée pendant un temps donné par les végétaux. C'est l'image que nous avons déjà évoquée en nous occupant de la vie (Liv. I, chap. VI p. 100).

Dans nos climats tempérés, 1 hectare de forêt produit une couche de houille qui aurait environ $\frac{12}{100}$ de millimètre d'épaisseur; comme on vient de voir que l'acide carbonique qui se trouve dans l'air donnerait à un moment donné une couche de houille dix fois plus épaisse si tout le carbone qu'il contient venait à être fixé sur le sol, il en résulte que si toute la surface du globe était couverte d'une végétation égale à celle des forêts et que l'acide carbonique absorbé ne se renouvelât pas, au bout de dix ans environ l'air en serait entièrement dépouillé.

Si l'on suppose donc que la végétation soit la même pendant toute l'année, la quantité de carbone fixée par les arbres par hectare serait de 4320 kilogrammes.

Ce nombre est relatif à notre pays; dans les régions équatoriales, où la végétation est plus active, il serait certainement supérieur. Si l'on considère les autres espèces de culture, la proportion de carbone fixée annuellement peut être également plus grande. Ainsi on a reconnu que pendant une année, dans une prairie bien fumée, il se forme par hectare 3500 kilog. de carbone fixés dans les plantes, et la culture des topinambours a donné (chiffre le plus élevé) la quantité de 6310 kilog. On peut donc considérer comme variant de 1500 à 6000 kilog. la proportion

de carbone fixée annuellement par hectare des diverses cultures dans les régions tempérées, et cela par l'action de la Lumière sur les différents végétaux.

D'après cela, si l'on cherche combien cette quantité de carbone donnerait de chaleur en brûlant, on aura une idée de la quantité du travail produit par la Lumière sur les végétaux à la surface du globe. Comme 1 kilog. de carbone fournit 8000 unités de chaleur, c'est-à-dire la quantité de chaleur qui échaufferait de 1 degré 8000 kilogrammes d'eau, les nombres ci-dessus donnent ces quantités de chaleur comme variant de 12 000 000 à 48 000 000. En prenant le chiffre de 24 millions pour la moyenne, on voit qu'en France seule l'action annuelle de la Lumière sur la végétation correspond à un incendie de 166 millions de kilos de charbon! Sur l'Europe entière, c'est un feu de 3000 milliards de kilos! Sur la planète entière, une combustion de 40 000 milliards!

Cependant la quantité de travail fournie par les rayons *lumineux* du Soleil pendant l'acte de la végétation dans nos climats, et qui se trouve emmagasinée dans les plantes pour être utilisée ensuite lors de la combustion ou de l'emploi de ces matières, est incomparablement inférieure, comme nous le verrons, à l'action *calorifique* produite par l'influence de ces mêmes rayons!

Un homme de trente à quarante ans fournit dans l'acte de la respiration une quantité d'acide carbonique qui équivaut à celle donnée par la combustion de 11 grammes de carbone par heure; une femme du même âge donne 7 grammes de ce gaz : on peut donc admettre en moyenne 9 gr. par personne. Il résulte de là qu'en vingt-quatre heures une personne fournit une quantité d'acide carbonique équivalant à 216 grammes, et que vingt-trois personnes produisent dans le même temps, par l'acte de la respiration, la quantité de carbone qui est fixée en moyenne pendant l'année par la végétation d'un hectare de forêt.

Ce résultat curieux n'est pas identique pour toutes les cultures, car, par exemple, un hectare de nos plantureuses prairies donne une fixation de carbone égale à la quantité qui sortirait des lèvres de 46 personnes. Mais quels que soient les détails, la vue d'ensemble est cet échange permanent d'atomes entre le règne végétal et nous-mêmes, cette organisation de l'équilibre de l'Atmosphère par l'opposition même de la fonction organique des deux règnes. Nous le voyons une fois de plus, une loi profonde établit sur notre planète une fraternité absolue entre tous les êtres, et cette fraternité

se développe dans l'histoire de la nature sous la protection active et incessante de la Lumière.

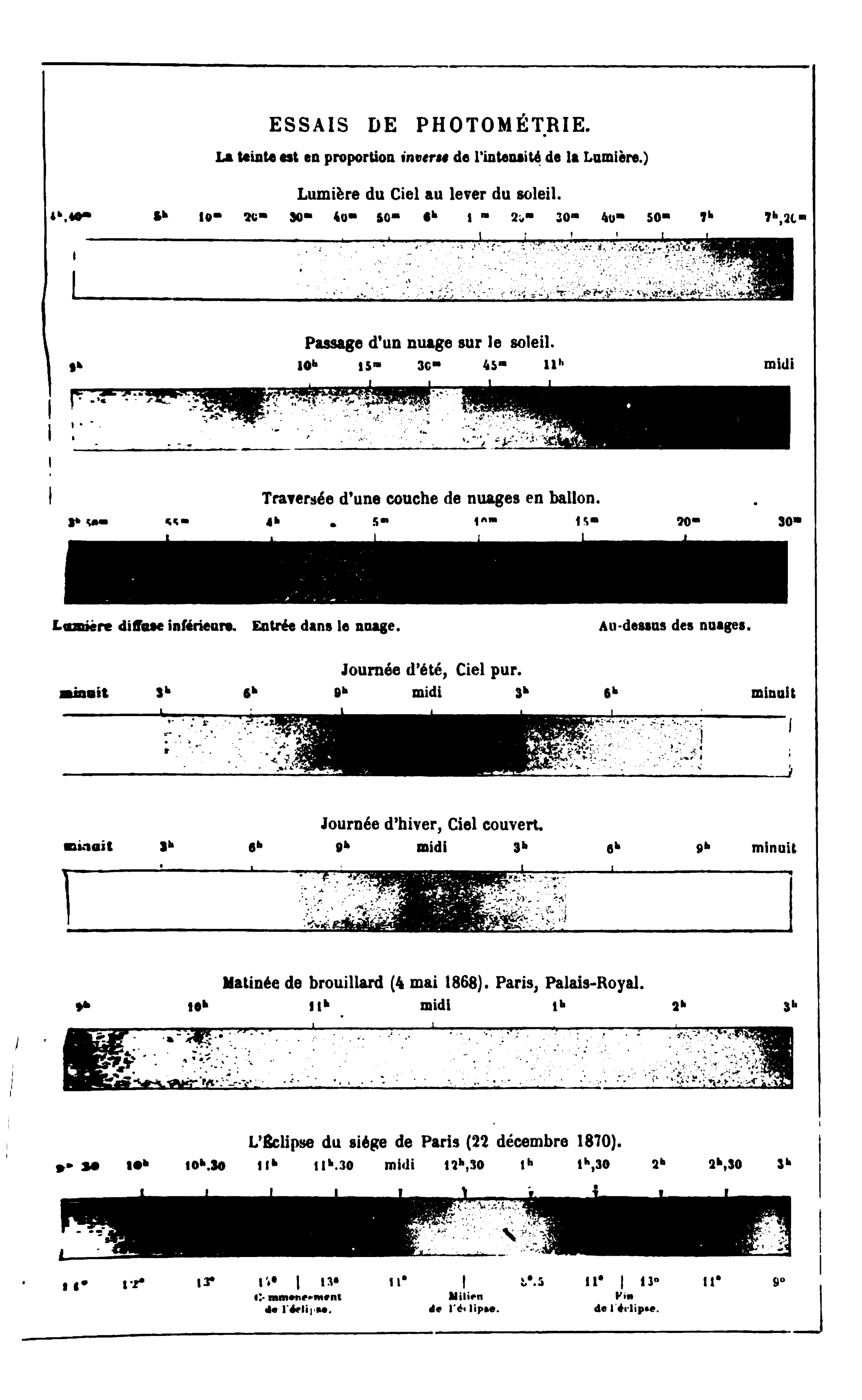
L'importance du rôle de la Lumière dans la nature, le désir de connaître ses variations d'intensité suivant les jours de l'année, m'avaient fait depuis longtemps songer à la mesurer par un procédé mécanique quelconque. Un fait particulier de mes excursions aéronautiques me força plus spécialement à m'occuper de ce point; c'est celui-ci. Toutes les fois que je traversais des nuages, j'étais singulièrement surpris de l'accroissement de clarté qui se produit lorsqu'on est plongé dans leur sein et qu'on s'élève vers leur surface supérieure. Parfois même la lumière diffuse qui règne sous un ciel couvert est si faible, quoique nous ne le remarquions pas, que l'œil est véritablement ébloui lorsque ayant pénétré de quelques centaines de mètres dans l'épaisseur d'un nuage, il approche de l'air lumineux supérieur à ce sombre couvercle si souvent étendu au-dessus de nos têtes. J'ai voulu mesurer cette variation de lumière; mais la chose n'était pas facile.

Il n'y a pas encore d'instrument, pour la lumière, analogue au thermomètre pour la chaleur, ou au baromètre pour la pression atmosphérique. On ne connaît pas de substance qui oscille avec l'intensité de la lumière ou subisse des variations instantanées. J'avais d'abord cherché quelque procédé susceptible d'imiter le jeu de la pupille de l'œil, qui se contracte ou se dilate suivant l'intensité de la lumière; mais mes recherches furent infructueuses.

Enfin, j'imaginai, faute de mieux, de prendre une substance qui puisse s'impressionner en proportion de la quantité de lumière à laquelle on l'expose, et garder cette impression afin qu'on puisse comparer les intensités lumineuses ainsi enregistrées.

J'ajouterai, puisque je suis conduit à parler de ces recherches, qu'un habile horloger de la marine de l'État, M. Lecoq d'Argenteuil, voulut bien essayer de construire sur mes indications un petit appareil portatif, donnant la variation de l'intensité de la lumière. Voici comment nous avons imaginé de construire cet appareil.

Le papier nitraté peut servir de substance impressionnable. Un mouvement d'horlogerie met en mouvement, dans une boîte de cuivre, un cylindre sur lequel est enroulée une bande de papier sensibilisé. La boîte se place sur une table; à sa partie supérieure est réservée une petite fenêtre, ouverture par laquelle passe la lumière, et dont la largeur est calculée sur le diamètre du cylindre. Celui-ci tourne autour d'un axe central, soit en une heure, pour les observations délicates et rapides, soit en douze heures. En pas-



ESSAIS DE PHOTOMÉTRIE.
(La teinte est en proportion inverse de l'intensité de la Lumière.)
Lumière du Ciel au lever du soleil.
5h 10m 20m 30m 40m 50m 6h 10m 20m 30m 40m 50m 7h
Passage d'un nuage sur le soleil.
9h 10h 15m 30m 45m 11h midi
Traversée d'une couche de nuages en ballon.
55m 4h 5m 10m 15m 20m 30m
Lumière diffuse inférieure. Entrée dans le nuage. Au-dessus des nuages.
Journée d'été, Ciel pur.
minuit 3h 6h 9h midi 3h 6h minuit
Journée d'hiver, Ciel couvert.
minuit 3h 6h 9h midi 3h 6h 9h minuit
Matinée de brouillard (4 mai 1868). Paris, Palais-Royal.
9h 10h 11h midi 1h 2h 3h
L'Éclipse du siége de Paris (22 décembre 1870).
10h 10h,30 11h 11h,30 midi 12h,30 1h 1h,30 2h 2h,30 3h
13° 13° 11° 11° 13° 11° 9°
Commencement de l'éclipse.
Milieu de l'éclipse.
Fin de l'éclipse.

sant sous la fenêtre le papier préparé s'impressionne plus ou moins suivant l'intensité de la lumière qui agit sur lui.

L'appareil est orienté au sud dans les observations à terre. Au lever du soleil, le papier perd un peu de sa blancheur. A mesure que le soleil est moins oblique, il noircit plus vite et davantage. Si des nuages passent sur l'astre radieux et assombrissent l'Atmosphère, il reste blanc ou gris pâle pendant la durée du passage. Si le ciel reste couvert toute la journée, les douze bandes horaires, ou la bande diurne de douze heures, donnent l'intensité relative de la lumière qui a pénétré les nuages. S'il pleut, le papier est sensiblement rougi par l'humidité. S'il n'y a qu'une heure ou deux de ciel couvert dans la journée, le papier est moins noirci pendant cette période. En dosant le bain d'argent, on peut donner au papier toute la sensibilité désirable. On voit, sans autres détails, que cet appareil donne par la série de ses indications l'état diurne et horaire de la lumière, la variation de l'Atmosphère, le lever et le coucher du soleil, leur valeur lumineuse, la durée du jour réel et son intensité à midi. Comparé aux indications du thermomètre pour la chaleur, de l'hygromètre pour l'humidité et du baromètre pour le déplacement de l'air, il complète l'enregistrement de l'action des forces de la nature sur la vie végétale et animale.

En ballon, cet appareil, placé horizontalement, m'a indiqué les variations d'intensité de la lumière suivant les heures, les hauteurs, l'état du ciel, et surtout, ce que j'avais désiré, la modification apportée par les nuages dans la distribution de la lumière dans l'Atmosphère.

J'ai donné à cet instrument le nom de *photomètre*.

On a par la planche précédente un exemple des essais que j'ai entrepris depuis plusieurs années sur ce sujet, et de l'utilité qu'il est permis d'en espérer pour l'avenir. C'est le fac-simile de diverses bandes de papier sensibilisé exposées au photomètre. La première est celle du 20 mars 1868 : on voit la lumière s'accuser, dès avant le lever du soleil, par un ciel pur, et s'accroître graduellement. La seconde indique le passage d'un nuage sur le soleil, à 10 heures 30-40 minutes. La troisième montre qu'en traversant une couche de nuages en ballon, la lumière est plus faible au moment où l'on pénètre dans l'intérieur du nuage, redevient bientôt analogue à la lumière diffuse d'en bas, la dépasse vite en intensité, s'accroît à mesure qu'on s'élève, et devient complète aussitôt qu'on a dépassé la surface supérieure du nuage. Dans la 4e et dans la 5e bande, on

peut comparer *l'intensité et la durée* de la lumière au solstice d'été (20 juin 1869) et au solstice d'hiver (22 décembre 1869).

Il y a des jours qui sont singulièrement sombres pendant quelques heures. Tel a été, par exemple, le 4 mai 1868, entre 10 heures et midi. Tel a été aussi, dans l'année 1870, le 8 juillet, de 1 heure à 3 heures. La lumière a diminué à Paris depuis 10 heures du matin par suite de nuages amoncelés, et son minimum a eu lieu au moment du violent orage qui éclata sur Paris et les environs.

J'ai appliqué ce photomètre à la mesure de la variation de lumière produite par l'éclipse de Soleil du 22 décembre 1870; l'éclipse est peinte en quelque sorte sur la série des bandes de papier photométrique, suivant la progression exacte de ses phases et l'état de l'Atmosphère. On voit que le jour n'avait que 4 degrés de lumière à 8 heures du matin, 10 degrés à 9 heures, 12 degrés à 10 heures, 14 degrés à 11 heures. Puis la lumière diminua progressivement jusqu'à 8 degrés 5 dixièmes au milieu de l'éclipse, remonta à 11 degrés à 1 heure 30 minutes, à 13 degrés à 2 heures, pour redescendre ensuite à 9 degrés à 3 heures, et à 3 degrés à 4 heures [1]. J'ai fait cette expérience à horizon découvert, près des remparts (6e secteur de l'enceinte fortifiée).

Ces degrés sont ceux d'une échelle arbitraire que j'ai appliquée aux teintes progressives qui correspondent à l'intensité de la lumière. En supposant que 20 degrés, par exemple, représentent la teinte noire, ou le maximum d'intensité, et 0 l'obscurité complète où le papier reste blanc, 1 à 19 degrés représenteront suffisamment tous les gris intermédiaires.

On apprécie directement de la sorte l'influence de la lumière solaire dans la nature terrestre, selon les années, les saisons, les jours et les heures, influence qui doit entrer dans l'étude des phénomènes de la vie, au même titre que les indications du thermomètre, de l'hygromètre et du baromètre. — L'Observatoire de Montsouris enregistre depuis sa fondation les variations de la lumière par un procédé analogue.

L'étude que nous venons de faire de l'œuvre de la lumière dans l'atmosphère terrestre nous amène à nous occuper maintenant d'une œuvre incomparablement plus puissante et plus active, quoique moins visible : l'action de la *chaleur* solaire, c'est-à-dire, la température, les saisons et les climats.

1. Voyez les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, du 26 décembre 1870.

LIVRE TROISIÈME

LA TEMPÉRATURE

CHAPITRE I.

LE SOLEIL ET SON ACTION SUR LA TERRE.

LA CHALEUR. — LE THERMOMÈTRE. — QUANTITÉ DE CHALEUR REÇUE DU SOLEIL. — SA VALEUR ET SON EXPLOITATION. — TEMPÉRATURE DU SOLEIL. TEMPÉRATURE DE L'ESPACE.

Nous avons, dans notre premier Livre, contemplé la Terre emportée au sein des espaces par la force mystérieuse de la gravitation universelle, roulant sur une orbite distante de 38 millions de lieues de l'astre solaire qui la soutient, et puisant dans la lumière permanente du foyer central l'entretien constant de sa beauté, de sa joie et de sa vie. Nous avons vu l'Atmosphère attachée autour du globe comme une couche de gaz adhérente à sa surface, et tous les êtres, grands ou petits, humbles ou glorieux, construits sur le type d'un même système organique, d'un système respiratoire, dont le fonctionnement est la condition même de leur vitalité à la surface de notre planète.

Nous avons admiré ensuite, dans notre deuxième Livre, la lumière céleste, qui pénètre doucement notre atmosphère entière, et enveloppe la planète d'une chatoyante parure. Jusqu'à présent, en quelque sorte, nous avons étudié la forme extérieure et les brillants aspects de la nature. Il est temps maintenant de descendre dans l'usine et d'apprécier la grande force infatigablement déployée. Nous allons examiner quelle est la puissance qui produit les courants de l'Atmosphère, les vents, les brises, les tempêtes, et fait circuler la vie sur la sphère habitée. Tandis que l'attraction mène la Terre dans l'espace et la penche sur son axe pour lui donner des saisons régénératrices, la Chaleur vient réveiller les organismes

endormis dans la nuit de l'hiver, et fait chanter les oiseaux dans les bois ; c'est elle qui fleurit dans les roses et sourit sur la verdoyante prairie; c'est elle qui murmure dans la source jaseuse et soupire sur le rivage escarpé des mers; c'est elle encore qui fait voyager les atomes de la plante à l'animal, de l'homme au végétal, et établit sur la terre l'immense fraternité des choses. Mieux inspirés que les anciens prophètes, qui déclaraient que nul ne peut savoir d'où vient le vent ni où il va, de même que nul ne pouvait dire sur quelles fondations le globe repose, nous allons trouver dans une seule force le principe des vents et des brises, des nuées et des orages, des pluies et des tempêtes, et juger dans sa grandeur le mécanisme de tous les mouvements qui s'accomplissent sur la Terre.

Voyons d'abord comment on apprécie la chaleur et sa distribution à la surface du globe.

Pour mesurer les variations de température, on se sert du *thermomètre* (θερμός, chaleur; μετρον, mesure), de même qu'on a imaginé, comme nous l'avons vu plus haut, le baromètre pour mesurer les variations de la pression atmosphérique. Sans nous arrêter maintenant, pas plus que nous ne l'avons fait pour le précédent appareil, à l'emploi du thermomètre et à ses diverses espèces, il est intéressant cependant de remonter à son invention, qui date également du milieu du dix-septième siècle.

B

A

Fig. 94. Le thermomètre.

Les anciens jugeaient de la température à peu près comme nous le faisons de nos jours, c'est-à-dire par les effets principaux qui en dépendent. Aujourd'hui, la science la mesure avec plus de soins et d'une manière uniforme, au moyen d'instruments spéciaux qui permettent de comparer les résultats d'un pays à ceux d'un autre pays, ou d'une époque à ceux d'une autre époque déterminée.

Lorsque les académiciens de Florence établirent que tous les corps changent de volume sous l'influence de la chaleur, ils posèrent les bases de la thermométrie. L'instrument dont se servaient ces savants consistait en une sphère A (fig. 94), soudée à un tube étroit B, et contenant de l'alcool coloré. Si l'on porte cet appareil d'un milieu dans un autre plus chaud, le liquide se dilate, le niveau s'élève, accusant ainsi l'augmentation de tem-

pérature. Cet appareil date de 1660. Pour que les thermomètres fussent comparables entre eux, c'est-à-dire afin que dans les mêmes circonstances ils pussent donner les mêmes indications, les académiciens de Florence les firent tous conformes à un même étalon, autant du moins qu'il leur fut possible. Un physicien de Pavie, Charles Renaldi, proposa le premier, vers 1694, le moyen employé encore aujourd'hui pour avoir des thermomètres comparables. Ce moyen consiste à placer l'instrument successivement dans deux conditions calorifiques invariables et faciles à reproduire : celles qui correspondent à la fusion de la glace et à l'ébullition de l'eau. Entre ces limites de la température, un même corps se dilate toujours de la même fraction de son volume. On marque généralement 0 degré au point où le liquide du thermomètre s'arrête dans la glace fondante, et 100 degrés à l'endroit où il reste stationnaire au sein de l'eau bouillante; ces deux points étant marqués sur la tige, on a divisé leur intervalle en 100 parties égales, et les divisions ont été prolongées de part et d'autre. Newton ayant clairement démontré la fixité du point d'ébullition de l'eau, le moyen employé par Renaldi pour rendre les thermomètres comparables fut adopté par tous les physiciens. C'est le thermomètre *centigrade*, le plus commode et le plus usité.



Fig. 95.
Le thermomètre centigrade.

Il y a une trentaine d'années, Pouillet (de l'Institut) s'est livré à une série d'expérimentations ingénieuses et patientes pour déterminer la quantité de chaleur envoyée à la Terre par le Soleil, et la température de l'espace, — c'est-à-dire les deux éléments constitutifs de la température qui existe à la surface du globe.

Les appareils employés pour ces déterminations ont été le *pyrhéliomètre* et l'*actinomètre*. Celui-ci n'ayant servi qu'à des recherches sur la température du zénith, nous n'avons pas à nous en occuper ici.

Le pyrhéliomètre se compose essentiellement d'un mince vase d'argent A (fig. 96) mesurant 1 décimètre de diamètre et contenant 100 grammes d'eau. Sa face tournée au soleil est recouverte de noir de fumée. Un thermomètre est fixé au vase et enchâssé dans la monture de cuivre B. L'eau du vase étant à la température ambiante, on l'expose pendant cinq minutes au soleil. Pour constater que le vase plat est bien perpendiculaire

aux rayons solaires, on voit si son ombre tombe juste sur le disque inférieur C, de même diamètre. En comparant son échauffement à sa température antérieure et postérieure à son exposition, on trouve la quantité de chaleur reçue du soleil en une minute par chaque centimètre carré. Cette élévation de température $t = 0{,}2624$ calorie [1].

Pouillet s'est également servi d'un pyrhéliomètre à lentille.

En tenant compte des épaisseurs atmosphériques traversées par



Fig. 96. — Le pyrhéliomètre.

les rayons solaires, l'expérimentateur a trouvé que le pyrhéliomètre prendrait une élévation de 6°,72, si l'Atmosphère pouvait transmettre intégralement toute la chaleur solaire sans en rien

1. On appelle *calorie* l'unité adoptée dans l'évaluation des quantités de chaleur, comme on appelle gramme l'unité adoptée dans l'évaluation des poids. Une calorie, c'est la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température de 1 kilog. d'eau; c'est aussi la quantité de chaleur dégagée par 1 kilog. d'eau, dont la température s'abaisse de 1 degré. — On appelle *kilogrammètre* l'unité adoptée dans l'évaluation du travail des forces : c'est le travail nécessaire pour élever un poids d'un kilog. à la hauteur d'un mètre.

absorber, ou si l'appareil pouvait être transporté aux limites de l'Atmosphère pour recevoir là, sans aucune perte, toute la chaleur que le Soleil nous envoie. Cette chaleur, multipliée par 0,2624, donne : 1,7633 calorie.

Telle est donc la quantité de chaleur que le Soleil verse en une minute sur 1 *centimètre* carré, aux limites de l'Atmosphère, et qu'il donnerait pareillement à la surface du sol, si l'air atmosphérique n'absorbait aucun des rayons incidents.

Au moyen de cette donnée et de la loi suivant laquelle la chaleur transmise diminue à mesure que l'obliquité augmente, on peut calculer la proportion de chaleur incidente qui arrive à chaque instant sur l'hémisphère éclairé du globe, et celle qui se trouve absorbée dans la moitié correspondante de l'Atmosphère. Le calcul fait voir que quand l'Atmosphère a toutes les apparences d'une sérénité parfaite, elle absorbe encore près de la moitié de la quantité totale de chaleur que le Soleil émet vers nous, et c'est l'autre moitié seulement de cette chaleur qui vient tomber sur le sol, et s'y trouve diversement répartie suivant qu'elle a traversé l'enveloppe aérienne avec des obliquités plus ou moins grandes.

Puisque le Soleil, d'après ce qu'on vient de voir, envoie en une minute, sur chaque *mètre* carré du sol qu'il frappe perpendiculairement, une quantité de chaleur égale à 17 633 calories, il est aisé d'en conclure la quantité totale de chaleur que le globe terrestre et son atmosphère reçoivent à la fois, en une année : c'est celle que reçoit une surface égale en étendue à l'un des grands cercles de la Terre. On trouve ainsi plus de douze cents quintillions de calories, ou le nombre 1 210 000 000 000 000 000 000 !

Cette chaleur élèverait, si c'était possible, de 2315 degrés une couche d'eau de 1 mètre d'épaisseur enveloppant la Terre entière.

En transformant cette quantité de chaleur en quantité de glace fondue, l'on arrive au résultat suivant :

Si la quantité totale de chaleur que la Terre reçoit du Soleil dans le cours d'une année était uniformément répartie sur tous les points du globe, et qu'elle y fût employée sans perte aucune à fondre de la glace, elle serait capable de fondre une couche de glace qui envelopperait le globe tout entier, et qui aurait une épaisseur de 30 mètres 89 centimètres, ou près de 31 mètres. Telle est la plus simple expression de la quantité totale de chaleur que la Terre reçoit chaque année du Soleil.

C'est cette effroyable quantité de chaleur qui meut les mécanismes de la vie terrestre, qui sépare le carbone de l'oxygène dans

les végétaux, qui fait croître les animaux, qui suspend les glaçons aux faîtes des montagnes, qui déchaîne les tempêtes sur les abîmes de l'Océan, — en un mot qui entretient l'immense vie aérienne de cette planète.

La même donnée fondamentale nous permet de trouver la quantité totale de chaleur qui s'échappe du globe entier du Soleil dans un temps donné.

Considérons cet astre comme le centre d'une enceinte sphérique dont le rayon soit égal à la moyenne distance de la Terre à lui; il est évident que sur cette vaste enceinte chaque mètre carré reçoit en une minute, de la part du Soleil, précisément autant de chaleur que le mètre carré de la Terre, c'est-à-dire 17 633; par conséquent, la quantité totale de chaleur qu'elle reçoit est égale à sa surface entière, exprimée en mètres et multipliée par 17 633.

On peut encore exprimer la même chose en disant que le globe terrestre, avec ses 3000 lieues de diamètre, n'intercepte dans cette sphère de 38 millions de lieues de rayon, que $\frac{1}{2\,300\,000\,000}$ du rayonnement total, et que la chaleur émise par le Soleil est 2 300 000 000 de fois plus grande que celle que la Terre reçoit.

Cette chaleur totale est telle, que chaque centimètre carré de la surface solaire émet en une minute 84 888 unités de chaleur.

En transformant cette chaleur en quantité de glace fondue, on arrive au résultat suivant :

Si la quantité totale de chaleur émise par le Soleil était exclusivement employée à fondre une couche de glace qui serait appliquée sur le globe du Soleil lui-même, et qui l'envelopperait de toute part, cette quantité de chaleur serait capable de fondre en une minute une couche de 11 mètres 80 d'épaisseur, et en un jour une couche de 17 kilomètres d'épaisseur! — Cette même quantité de chaleur élèverait de 1 degré par seconde 13 610 kilogrammes d'eau, ou ferait bouillir par heure 2900 milliards de kilomètres cubes d'eau à la température de la glace! — Pour opposer à la radiation solaire une résistance frigorifique égale, il faudrait lui envoyer un jet d'eau glacée de 18 lieues de diamètre avec une vitesse incessante de 77 000 lieues par seconde!

En une année, chaque mètre carré de la surface de la Terre reçoit 2 318 157 calories; c'est plus de 23 milliards de calories par hectare, c'est-à-dire 9 852 200 000 000 de kilogrammètres. Ainsi la radiation calorifique du Soleil, en s'exerçant sur un de nos hectares, y développe sous mille formes diverses une puissance qui

équivaut au travail continu de 4163 chevaux-vapeur. Sur la terre entière, c'est un travail de 510 sextillions de kilogrammètres ou de 217316000000000 de chevaux-vapeur.

543 milliards de machines à vapeur de 400 chevaux chacune, travaillant sans relâche le jour et la nuit, représenteraient la force dépensée pour notre planète seule par la radiation solaire!...

Une partie de cette puissance est employée à échauffer l'écorce terrestre jusqu'à une certaine profondeur; mais comme le sol et l'Atmosphère rayonnent dans l'espace, et que le globe terrestre ne paraît perdre ni gagner au point de vue de la température moyenne, au moins pendant de longues périodes d'années, toute cette partie de la radiation du Soleil peut être considérée comme maintenant l'équilibre de température sur la planète.

Une autre partie se transforme en mouvements moléculaires, en actions et réactions chimiques, qui sont la source où la vie des végétaux et des animaux puise incessamment de quoi se perpétuer et s'entretenir. La chaleur qui semble anisi propre à ces êtres, n'est autre chose qu'une émanation de celle du foyer commun. « C'est ainsi, dit Tyndall à ce propos, que nous sommes, non plus dans un sens poétique, mais dans un sens purement mécanique, des enfants du Soleil. »

La vie terrestre est suspendue aux rayons du Soleil. De même que notre globe est soutenu dans l'abîme de l'espace par la main invisible de l'attraction solaire, ainsi la vie elle-même, végétale et animale, qui fleurit à sa surface, n'est entretenue que par la force incommensurable de l'activité solaire. Les religions antiques, les premières poésies de l'humanité éveillée, saluaient déjà dans l'astre radieux le grand moteur de la création : elles ne faisaient que deviner, sous une forme bien pâle encore, la grandeur de l'action permanente du foyer de notre système sur les mondes habités qui gravitent dans son fécond rayonnement.

Si l'on calcule en valeur productive la puissance des rayons solaires, on constate qu'ils versent *sur chaque mètre carré* une quantité de chaleur suffisante pour faire bouillir en moins de dix minutes un litre d'eau à la température ordinaire (ce chiffre est celui de notre climat). Le soleil, par un beau jour, lance pendant huit ou neuf heures, à Paris, un travail de près d'un cheval-vapeur par mètre carré. La chaleur solaire, émise sur une surface de 100 pieds carrés, correspond, aux latitudes tropicales, à la combustion de plus de 100000 kilogrammes de charbon par heure.

L'intensité d'un phénomène calorifique qui se traduit par une

pareille consommation de houille dépasse l'imagination. L'ingénieur américain Ericson, qui s'est occupé des machines solaires à vapeur dont nous parlerons tout à l'heure, a calculé que l'effet mécanique de la chaleur solaire tombant sur les toits de Philadelphie pourrait faire marcher plus de cinq mille machines à vapeur de la force de vingt chevaux chacune. Archimède, après l'achèvement d'un calcul sur la force du levier, disait qu'avec un point d'appui il se chargerait de soulever le monde. Le même ingénieur prétend que « la concentration de la chaleur rayonnante du Soleil produirait une force capable d'arrêter la Terre dans sa marche! »

La chaleur est une *force* au même titre que le mouvement. Le travail produit par l'élévation de température de 1 kilogramme d'eau à un degré plus haut, est exactement le même que celui qui serait nécessaire pour élever à la hauteur de 1 mètre un poids de 425 kilogrammes.

La chaleur solaire est la source des seuls travaux naturels que l'homme ait su jusqu'à présent détourner à son profit. On ne peut guère, en effet, compter parmi ces travaux que ceux qui résultent de l'emploi du combustible, des moteurs animés, des cours d'eau et du vent. Or, c'est cette chaleur qui donne naissance aux vents, au cours des eaux ; c'est le Soleil qui fait tourner les moulins, courir les locomotives, voguer les ballons dans les airs.

D'ailleurs le combustible de l'industrie vient aussi du même astre : à l'état de bois, c'est du carbone absorbé par les végétaux respirant dans l'air sous l'influence de l'astre radieux ; à l'état de houille, c'est encore du carbone fixé jadis par la même influence dans les grands arbres antédiluviens.

Sous quelque forme qu'elle emprunte le concours des agents naturels, l'industrie humaine ne relève que du Soleil ; et elle est encore loin de recueillir la majeure partie du travail engendré sur notre planète par cet immense foyer. Si, comme l'expérience l'a depuis longtemps établi, la chaleur reçue en très-peu de temps par une surface de médiocre étendue soumise à l'insolation est considérable ; si, de plus, il est facile de préserver cette surface du refroidissement et de lui conserver sur le milieu qui l'environne un excès de température immense : il est clair qu'on peut se proposer d'emmagasiner directement le travail de la chaleur solaire. On comprend d'ailleurs toute l'importance d'une pareille conquête pour les régions où cette chaleur est ardente et l'Atmosphère toujours pure ; car c'est dans ces régions que l'énergie des moteurs animés, les cours d'eau et le combustible font défaut.

Les rayons du Soleil, après avoir traversé l'air, une vitre ou un corps transparent quelconque, perdent la faculté de retraverser ce même corps transparent pour retourner vers les espaces célestes. C'est par un procédé fondé sur cette loi physique que les jardiniers accélèrent au printemps la végétation des plantes délicates en les recouvrant d'une cloche en verre qui admet les rayons solaires, mais ne les laisse ensuite s'échapper qu'avec beaucoup de difficulté. Si le jardinier met deux ou trois cloches l'une sur l'autre, il fait invariablement cuire la plante ainsi recouverte, et même dans les jours sereins de mars et d'avril il est souvent obligé de relever un des bords de la cloche de verre pour que la plante ne souffre pas du soleil de midi. Au moyen d'un appareil composé d'une boîte noircie en dedans et de plusieurs glaces superposées, Saussure a pu porter de l'eau à l'ébullition ; et pendant son séjour au cap de Bonne-Espérance, dans les jours brûlants de la fin de décembre, sir John Herschel a pu faire cuire un « bœuf à la mode » de grandeur très-raisonnable au moyen de deux boîtes noircies placées l'une dans l'autre et garnies chacune d'une seule vitre, sans aucune autre cause de chaleur que les rayons solaires qui venaient s'engouffrer sans retour possible dans cette espèce de souricière. « Il y eut de quoi, dit M. Babinet, régaler toute sa nombreuse famille et les invités, à cette cuisine opérée avec un fourneau d'un si nouveau genre. » Cette condensation s'opère en vertu de la loi qui fait régner le froid sur les hautes montagnes.

La boîte d'Herschel, fermée seulement par deux lames de verre, atteignit successivement 80, 100 et 120 degrés de chaleur.

Quoique ce fourneau nous paraisse si nouveau, on pourrait presque dire cependant qu'il est renouvelé des Grecs. On trouve, en effet, que cent ans avant notre ère, Héron d'Alexandrie a décrit dans ses *Pneumatiques* un grand nombre d'ingénieux appareils légués par les anciens, et sans doute par les savants hiérophantes d'Égypte. L'un de ces appareils, qui paraît avoir été construit par Héron, tire de l'eau d'un réservoir par le seul effet de la dilatation et de la condensation de l'air sous l'influence du soleil, alternativement montré et caché à l'appareil.

A la fin du seizième siècle, le savant napolitain J. B. Porta exposa dans sa *Magie naturelle* les applications mécaniques de la chaleur solaire. Si l'on place, dit-il, un globe de cuivre au sommet d'une tour, et que de ce vase un tuyau descende dans un réservoir d'eau, en échauffant le globe supérieur par du feu ou le soleil,

l'air raréfié s'échappe. Bientôt le soleil se retirant, le vase de cuivre se refroidit, l'air se condense et l'eau est aspirée.

Salomon de Causs a donné au commencement du dix-septième siècle la description de la première machine élévatoire *fonctionnant* à l'aide du soleil. C'est sa *fontaine continuelle*. Imaginons, posées sur une citerne, une série de caisses de cuivre, au tiers remplies d'eau. Un tube horizontal est posé sur cette série de caisses et communique par de petits ajutages verticaux jusqu'à l'eau des caisses. La chaleur solaire dilatant l'air, fait exercer une pression sur l'eau qu'elles renferment et la fait monter dans le tube horizontal supérieur. Une ouverture est pratiquée sur ce tube, et l'on peut ainsi produire un jet d'eau.

Lorsqu'une partie de l'eau contenue dans les caisses est montée, et que, la nuit venue, l'air se trouve raréfié, l'eau de la citerne, qui est en communication avec les caisses par un tube vertical, une soupape et un tube horizontal communiquant, s'élève pour remplir les vases comme ils l'étaient auparavant, « tellement, dit Salomon de Causs, que ce mouvement continue autant comme il y aura de l'eau dans la citerne » et des alternatives de soleil et de nuit. Cette fontaine continuelle destinée à l'embellissement des jardins pourrait, moyennant quelques améliorations, servir à résoudre économiquement le problème de l'élévation des eaux. Quoi de plus rationnel, en effet, que le projet de faire monter les eaux à l'aide de l'agent même qui les élève dans la nature?

La concentration de la chaleur solaire dans une enceinte vitrée est un fait expérimental si facile à constater que l'observation en a dû suivre d'assez près l'invention des vitres. Cependant, malgré les diverses constatations qu'on a pu faire à cet égard, et malgré les applications que nous venons de signaler, on ne voit point avant Saussure une étude scientifique bien complète du phénomène. Depuis Saussure et Herschel diverses études furent reprises par plusieurs physiciens. Ce curieux problème est actuellement dans sa phase la plus intéressante peut-être, dans celle qui donne d'une part des résultats sérieux, et qui permet d'autre part à l'imagination de deviner pour l'avenir des résultats plus considérables encore.

Grâce aux travaux persévérants de M. A. Mouchot, professeur au lycée de Tours, nous pouvons maintenant posséder des appareils nous permettant de substituer les célestes rayons du soleil au charbon vulgaire pour la cuisson des aliments.

Dans un bocal de verre on place un vase de la même forme en cuivre ou en fer battu, et l'on recouvre le tout d'un couvercle de verre. Cette simple marmite so-

laire, placée au foyer d'un réflecteur cylindrique d'argent, fait bouillir en une heure et demie trois litres d'eau à la température initiale de 15 degrés.

Le réflecteur est une simple feuille de plaqué d'argent dont l'ouverture est d'un demi-mètre carré.

On atteint facilement des températures de 100, 120, 150 et 200 degrés centigrades!

Cette marmite solaire a permis à M. Mouchot de confectionner au soleil un excellent pot-au-feu, formé d'un kilogramme de bœuf et d'un assortiment de légumes. Au bout de quatre heures d'insolation, le tout s'est trouvé parfaitement cuit, malgré le passage de quelques nuages sur le soleil, et le consommé a été d'autant meilleur que l'échauffement s'était produit avec une grande régularité.

A l'aide d'une légère variation de forme, on a pu transformer cette marmite en un four, et faire cuire en moins de trois heures un kilogramme de pain, ne présentant aucune différence avec celui des boulangers.

En la transformant en alambic, on a pu distiller de l'alcool au soleil au bout de quarante minutes d'exposition. L'alcool était très-aromatique.

On a fondu de l'étain (235°), du plomb (335°), du zinc (460°).

Un grand nombre d'autres essais ont été faits, sur lesquels il serait superflu d'insister. Voilà donc l'emploi de la chaleur solaire comme force motrice qui commence à entrer dans le domaine de la science pratique. Il va sans dire que dans nos contrées si souvent attristées de nuages, cette application ne saurait se faire sur une vaste échelle; mais d'une part, on pourrait d'abord l'ajouter, quand il y a lieu, à la chaleur artificielle, et d'autre part, il y a sur la terre d'immenses contrées où il ne pleut jamais.

En Algérie, l'auteur propose de donner à nos soldats une petite batterie de cuisine n'exigeant pas de combustible, dans les sables du Sahara ou les neiges de l'Atlas. En Cochinchine, où l'eau doit être soumise à l'ébullition pour être potable, on n'aurait pas besoin de combustible pour cela. Des jets d'eau dans les appartements peuvent être entretenus par la chaleur solaire; il n'est pas jusqu'à l'appareil à fabriquer la glace qui ne puisse fonctionner par le même agent. La conservation des grains par un lent étuvage, le chauffage des vins au bain-marie, la fabrication de la colle, des bougies, du noir animal, la distillation des essences, l'extraction du sel de l'eau de mer, l'épuration du soufre, etc., etc., la chaleur solaire peut produire tous ces travaux.

Nous saluons dans la locomotive le carbone fixé dans la houille par le Soleil; mais nous nous demandons par quoi les chaudières seront chauffées après l'épuisement relativement prochain (dans deux siècles) des houillères. Qui sait? Ne sera-ce pas par le Soleil, directement? Ce serait là une application industrielle sans précédent. En voici encore une autre qui nous est offerte par le savant professeur de Tours.

Le rendement de la machine à vapeur solaire s'accroit à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, puisqu'alors le point d'ébullition des liquides s'abaisse en même temps que l'ardeur relative du soleil augmente et que le refroidissement de l'air favorise la condensation des vapeurs. Ne sera-ce pas aussi là le secret de la navigation aérienne?...

On voit que la chaleur solaire représente une force mécanique considérable. Quelle peut être la température intrinsèque de ce foyer de la vie planétaire?

Nous avons vu tout à l'heure quelle est l'intensité de la chaleur qui en émane. Par un procédé tout à fait différent des précédents

on a essayé de déterminer la température même de cet astre brûlant. Voici comment :

Lorsqu'un corps est exposé au soleil, les corps environnants rayonnent vers lui; il s'établit ainsi un échange de radiations entre le thermomètre et l'enceinte dans laquelle il se trouve enfermé, tous les corps rayonnant les uns vers les autres. Lorsque l'équilibre est établi, l'intensité relative des températures que possèdent les parties rayonnantes, est en raison inverse de la surface des différentes parties de l'enceinte, cette surface étant estimée suivant sa grandeur angulaire, vue du corps qui reçoit les radiations.

Pour déterminer la température du Soleil, on s'est servi d'un appareil qui expose un thermomètre à ses rayons dans une enceinte de température connue; on lit l'indication donnée par la colonne mercurielle, et on multiplie ce nombre par le rapport qui existe entre la surface de la sphère céleste et la surface apparente du soleil. Or, le disque solaire ayant un diamètre moyen de 31′3″,6, le rapport entre cette grandeur et la sphère céleste entière est de 183 960.

Voici du reste en quoi consiste cet appareil :

Deux cylindres concentriques soudés l'un à l'autre forment une espèce de double chaudière, dont l'intervalle annulaire peut être rempli d'eau ou d'huile à une température quelconque.

Un thermomètre passe par une tubulure à travers l'espace annulaire, et pénètre jusqu'à l'axe du cylindre; là il reçoit les rayons solaires qui sont introduits par un diaphragme dont l'ouverture est à peine plus grande que la boule du thermomètre.

Le cylindre intérieur et son thermomètre sont recouverts de noir de fumée. Un second thermomètre donne la température de l'espace annulaire, et par conséquent celle de l'enceinte. Tout l'appareil est monté sur un support ayant un mouvement parallactique, marchant avec le mouvement diurne du soleil.

L'appareil ayant été exposé au soleil, comme nous l'avons dit, on observe les deux thermomètres; leur différence de température s'élève graduellement, et au bout de quelque temps elle finit par devenir constante. Alors on note les deux températures, et on en fait la différence.

Dans un grand nombre d'observations faites à Rome, le P. Secchi a constaté que la différence des deux températures a été de 12 degrés; dans les journées où le ciel était plus pur, elle s'est élevée à 14 degrés.

La différence reste constante, quelle que soit la température de l'enceinte, de sorte que si celle ci = 0 degré, celle du thermomètre solaire = 12 degrés; et si elle = 60 degrés, celle du ther-

momètre solaire = 72 degrés. Ce résultat peut paraître surprenant, mais il résulte de toutes les expériences faites.

Plus on s'élève dans l'Atmosphère, plus la différence est grande. Au sommet du mont Blanc, M. Soret a trouvé 21°,13. Ce qui donne pour la température du soleil T=21,13×183 960=3 987 075 degrés centigrades, c'est-à-dire près de 4 millions de degrés. Mais ce nombre est évidemment trop petit, fait remarquer le P. Secchi, car il faut tenir compte de l'*absorption atmosphérique*. Pour cela, en appliquant les lois connues, on doit ajouter à la différence trouvée le nombre 7°,89. Alors nous avons pour l'instrument 29° au lieu de 21°, ce qui conduit à admettre pour la température du Soleil le chiffre de 5 334 840 degrés, ou, en nombres ronds, 5 millions et un tiers.

Les radiations ainsi évaluées sont celles qui ont traversé l'atmosphère solaire, dont l'absorption totale éteint la moitié des rayons émis par la masse incandescente; aussi, en donnant 5 millions de degrés aux rayons qui sortent de l'atmosphère solaire, on doit considérer la température même de la masse incandescente de l'astre comme élevée à 10 millions de degrés! (Secchi, *le Soleil*.)

Telle est la colossale et inimaginable température du foyer radieux autour duquel gravitent les planètes habitées.

C'est cette chaleur qui les soutient et les féconde; et, pour notre planète en particulier, la chaleur intérieure du globe ne paraît plus avoir aucune action sur les phénomènes de la vie qui s'accomplissent à sa surface.

Un mot aussi sur cette chaleur intérieure.

Mairan, Buffon, Bailly évaluaient, pour la France, la chaleur qui s'échappe de l'intérieur de la terre, à 29 fois en été, et à 400 fois en hiver, celle qui nous vient du Soleil. Ainsi, la chaleur de l'astre qui nous éclaire ne formerait qu'une très-petite partie de celle du globe. Cette idée a été développée avec une grande éloquence dans les *Époques de la nature;* mais l'ingénieux roman auquel elle sert de base, s'est dissipé comme un fantôme devant la sévérité des calculs mathématiques.

Fourier ayant découvert que l'excès de la température totale de la surface terrestre sur celle qui résulterait de la seule action des rayons solaires, a une relation nécessaire avec l'accroissement des températures à différentes profondeurs, a pu déduire de la valeur expérimentale de cet accroissement une détermination numérique de l'excès en question, c'est-à-dire de l'effet thermométrique que

la chaleur centrale produit à la surface; or, au lieu des grands nombres donnés par Mairan, Bailly, Buffon, qu'a trouvé le savant calculateur? — la trentième partie d'un degré!

La surface du globe qui, à l'origine des choses, était probablement incandescente, s'est refroidie dans le cours des siècles, de manière à conserver à peine une trace sensible de sa température primitive. Cependant on sait que la chaleur s'accroît à mesure qu'on descend dans l'intérieur, en raison de 1 degré par 35 mètres environ, et que cette chaleur est colossale aux racines des volcans. Le temps apportera de grandes modifications dans ces températures intérieures. A la surface (et les phénomènes de la surface sont les seuls qui puissent altérer ou compromettre l'existence des êtres vivants) tous les changements sont accomplis à un trentième de degré près. L'affreuse congélation du globe dont Buffon fixait l'époque au moment où la chaleur intérieure se sera totalement dissipée, est donc un pur rêve!

Maintenant, quelle est la *température de l'espace?*

Cette question a fait, depuis le commencement de ce siècle surtout, le sujet d'un nombre assez considérable de recherches différentes, qu'il est intéressant de résumer ici en quelques mots.

Que l'espace infini soit vide dans les régions intrastellaires, ou (ce qui est plus probable) qu'il soit occupé par un milieu de nature inconnue extrêmement ténu, qu'on est convenu d'appeler *éther*, et si léger que tout ce qui tient dans ce système planétaire ne pèse pas 1 kilogramme! — ce qu'il y a de certain, c'est que les étoiles qui sont autant de soleils, émettent des rayons lumineux et calorifiques, et que l'espace n'est pas absolument froid.

La Terre même traverse de siècle en siècle des régions dont la température varie. Poisson suppose même que la chaleur du globe peut provenir de là.

Le géomètre Fourier avait trouvé la température de l'espace au sein duquel gravite actuellement le système planétaire de 50 à 60 degrés au-dessous de zéro. Le thermomètre ayant été observé au fort Reliance à — 57 degrés, Arago en concluait (Institut, 1836 que la température de l'espace est notablement inférieure à ce chiffre, et entre — 60 et — 70.

Par des expériences faites à l'aide de l'actinomètre, Pouillet concluait cette température à — 140 degrés au-dessous de zéro, et, bizarre conséquence, le même physicien disait que cette chaleur équivaut aux $\frac{5}{6}$ de la chaleur solaire et serait capable de faire fondre par an sur notre globe une couche de glace de 26 mètres!

Il a fallu attendre jusqu'à la création toute récente de l'une des branches les plus fécondes de la physique moderne, la *théorie mécanique de la chaleur,* pour avoir sur ce point si discuté une réponse mathématique. Grâce aux principes fixés par cette science, nous savons maintenant d'une part que l'abaissement indéfini de la température est une pure fiction; d'autre part, qu'il existe un *zéro absolu* où toute chaleur a disparu des corps, et que ce zéro pour tous les corps de l'univers est de 273 degrés au-dessous de la glace fondante.

Imaginons un instant que la Terre ne soit plus chauffée ni par les rayons solaires, ni par aucun autre rayon calorifique, et suivons les phénomènes qui en résulteraient.

Toutes les molécules de l'air atmosphérique rayonneraient leur chaleur dans tous les sens et se refroidiraient de plus en plus, car leurs pertes ne seraient point réparées; leur densité augmentant, elles tomberaient vers la terre, tandis que d'autres molécules monteraient pour aller se refroidir à leur tour.

Après quelques siècles, toute la chaleur du globe, tant la chaleur centrale et primitive que la chaleur superficielle et maintenue par le Soleil, se trouverait dissipée dans l'espace; mais cette dissipation serait plus ou moins prompte dans les divers pays, suivant que la surface du sol serait plus ou moins rayonnante et la conductibilité des couches intérieures plus ou moins parfaite.

Les astres lumineux innombrables qui occupent les diverses régions du ciel ne sont pas dépourvus de chaleur; les espaces célestes sont donc à une certaine température, qui doit être de 273 degrés au-dessous de zéro, comme nous venons de le dire, et notre globe, suspendu au milieu de ces espaces avec l'Atmosphère pour enveloppe diathermane, cesserait de se refroidir lorsqu'il serait mis en équilibre avec cette température.

Mais cette « chaleur » serait un véritable froid, incomparablement plus rude que tous ceux des glaces du pôle, et aurait éteint la vie terrestre jusque dans ses racines.

Ni la température de l'espace, ni celle du globe n'ont donc d'influence sensible actuellement à la surface de la terre, et c'est la chaleur solaire qui organise la circulation des airs, des eaux, des éléments, de la vie entière, comme nous allons le constater mieux encore dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II.

LA CHALEUR DANS L'ATMOSPHÈRE.

L'USINE ET LA FORCE. LA VAPEUR D'EAU. LES ATMOSPHÈRES PLANÉTAIRES. DÉCROISSANCE DE LA TEMPÉRATURE SUIVANT LA HAUTEUR.

De l'immense rayonnement calorifique incessamment émané du foyer solaire, il importe maintenant de saisir et d'apprécier à sa valeur la quantité qui est en jeu dans l'Atmosphère et en organise la circulation.

La météorologie n'est qu'un grand problème de physique : il s'agit de déterminer les lois qui règlent la manière dont se distribuent dans notre atmosphère la chaleur, la pression barométrique, la vapeur d'eau et l'électricité, le tout en relation avec les mouvements que la chaleur solaire engendre dans la couche superficielle solide, liquide et gazeuse de notre globe. Ce problème, si vaste qu'il soit, dit notre illustre correspondant de l'Observatoire de Rome, le P. Secchi, n'est au fond qu'une application des lois les plus connues de la physique; les difficultés de la solution tiennent plutôt au grand nombre des causes perturbatrices et aux réactions incalculables des effets sur les causes, qu'à une véritable lacune dans la théorie générale. De là la nécessité de nombreuses données expérimentales pour arriver à la solution.

L'Atmosphère est en réalité une immense machine, à l'action de laquelle est subordonné tout ce qui a vie sur notre planète. S'il n'y a dans cette machine ni rouages, ni pistons, ni engrenages, elle n'en fait pas moins le travail de plusieurs millions de chevaux, et ce travail a pour but et pour effet la conservation de la vie.

Tous les mouvements de l'Atmosphère sont la conséquence de

la propriété qu'ont les gaz de se dilater par la chaleur. De la température de la glace fondante, leur volume s'accroît d'un tiers. Ces variations de volume, et par conséquent de densité, troublent à chaque instant l'équilibre qui tendrait à s'établir dans l'air atmosphérique. L'air, échauffé dans les zones équatoriales, s'élève dans les régions supérieures pour aller redescendre près des pôles; là il se refroidit, revient à l'équateur et recommence son mouvement de circulation. Le travail ainsi accompli par l'Atmosphère est immense. Nos flottes sillonnent la mer sur les ailes des vents, et le souffle gracieux des zéphyrs, ainsi que la tourmente des ouragans, sont l'effet de la puissance solaire emmagasinée dans cette gigantesque usine à gaz.

A cette propriété de l'air s'en ajoute une autre non moins importante : celle de dissoudre la vapeur d'eau, qui se soulevant en quantité prodigieuse aux environs de l'équateur, est ensuite distribuée sur toute la terre en pluie vivifiante. Ainsi s'accomplit un autre travail non moins puissant et non moins vaste : la distribution des eaux pluviales sur la surface du globe. Les eaux courantes qui font mouvoir nos machines ont été d'abord soulevées dans les airs par ce puissant engin; de là elles ruissellent sur les montagnes en forme de pluie et vont couler dans nos fleuves pour se rendre enfin à l'océan lui-même d'où elles sont parties. Ceux qui ont visité les chutes gigantesques du Niagara en gardent un émouvant souvenir; elles ne sont cependant qu'une fraction absolument insignifiante de ce qui se passe journellement dans l'Atmosphère.

Le Soleil est le premier moteur duquel dépendent tous les mouvements du système planétaire, non-seulement pour la régularité des orbites que décrivent les différents astres, mais aussi pour les phénomènes physiques ou physiologiques qui s'accomplissent à leur surface. Sur la Terre, en particulier, les mouvements atmosphériques, le mouvement des eaux, le développement de la végétation, la production de force qui résulte des combustions et de la nutrition des animaux, tous ces phénomènes sont dus à l'influence des radiations solaires.

C'est la force du Soleil qui, en dilatant l'air dans certaines régions, le soulève en masses considérables et produit ainsi un vide que d'autres masses gazeuses viennent combler rapidement; de là ces courants atmosphériques et cette action puissante du vent qui transporte nos vaisseaux sur les mers. C'est la force émanée du Soleil qui soulève les eaux sous forme de vapeurs et les laisse retomber ensuite en pluie bienfaisante destinée à féconder nos

campagnes. C'est encore au Soleil que nous devons ces ruisseaux qui nous désaltèrent, ces fleuves dont les eaux font mouvoir nos machines; par la vapeur enlevée à l'Océan, il alimente les neiges, qui solidifient l'eau au sommet des montagnes pour la distribuer en détail et produire le mouvement, la fécondité, la vie.

Ce qui peut nous paraître mieux organisé encore, c'est la manière dont cette force calorifique se trouve, pour ainsi dire, emmagasinée dans les végétaux, non-seulement dans ceux qui, encore vivants, servent à nos usages et à notre alimentation en même temps qu'ils ornent et embellissent notre demeure ici-bas; mais aussi dans ceux qui, ensevelis depuis plusieurs millions d'années dans les entrailles du globe, en sortent maintenant pour nous échauffer et pour produire la force motrice nécessaire à nos machines. Chaque plante est une véritable machine dans laquelle s'élaborent les substances éminemment combustibles qui servent à nous fournir, en l'absence du soleil, la chaleur et la lumière, ou à produire, en nous servant d'aliment, la force et la chaleur vitale dont nous avons besoin. C'est donc du Soleil, en dernière analyse, dit encore le P. Secchi, que dépendent tous les phénomènes de la nature et notre existence elle-même.

Dans le rayonnement solaire, ce qui frappe tout d'abord, c'est la lumière qui nous éclaire et la chaleur qui nous échauffe; mais, outre ces deux ordres de phénomènes, il y en a un troisième non moins important : ce sont les actions chimiques qui accompagnent les deux autres. Aussi doit-on distinguer trois ordres d'actions dans l'œuvre solaire : les rayons *lumineux*, les rayons *calorifiques* et les rayons *chimiques*. Les premiers donnent à la nature la beauté d'une jeunesse éternelle; les seconds donnent au monde sa force et sa valeur; les troisièmes tissent la trame sans cesse renaissante de la vie planétaire.

Chacun sait que pour analyser un rayon du soleil, on le fait passer à travers un prisme triangulaire de verre, en sortant duquel le rayon est décomposé en un ruban colorié, comme déjà nous l'avons vu en étudiant l'arc-en-ciel. Mais le spectre visible n'est pas la seule chose qui existe dans un rayon de soleil. Le ruban multicolore se continue, à chaque bout, par un ruban invisible. Les ondes dont la longueur est comprise entre 768 et 369 millionièmes de millimètre sont capables de faire vibrer notre nerf optique; ces vibrations sont comprises entre 394 trillions et 758 trillions par seconde; elles produisent ainsi la sensation de la *lumière;* la diversité des couleurs ne dépend que de la longueur des ondes; les

plus grandes se trouvent dans le rouge et elles vont en décroissant vers le violet. A gauche de l'extrémité rouge du spectre, il y a les ondes longues et lentes de la chaleur. A droite de l'extrémité violette, il y a les ondes courtes et rapides de l'action chimique. Notre œil ne voit ni les premières ni les secondes, on les reconnaît en employant des préparations photogéniques ou des substances impressionnables.

En réalité, cependant, il n'existe dans la nature qu'une seule et unique série d'ondes, dont la longueur va constamment en décroissant, à partir de l'extrémité du spectre calorifique obscur jusqu'à l'extrémité du spectre chimique dans sa partie invisible. Entre ces deux extrêmes, il n'y a qu'une portion très-limitée qui jouisse de la propriété d'ébranler notre nerf optique.

La figure 97 montre l'étendue et l'intensité relative de ces diffé-

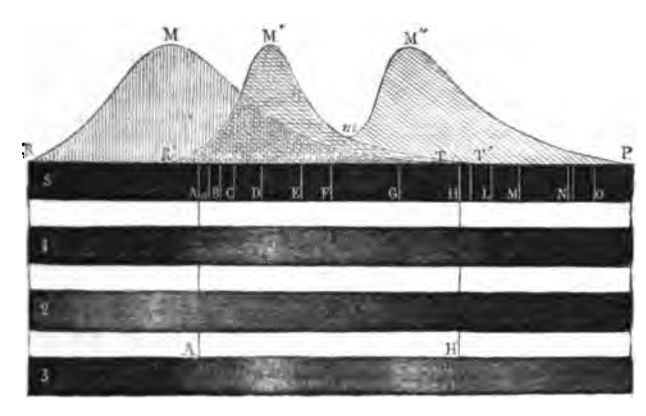


Fig. 97. — Intensité relative des rayons solaires, calorifiques, lumineux et chimiques.

rentes actions séparées l'une de l'autre comme nous les présente l'action dispersive des prismes. La zone qui forme la base de cette figure indique la longueur du spectre solaire. De A à H, c'est la partie *lumineuse ;* la droite, de H à P, est la partie chimique *invisible;* la gauche, de A à S, est la partie *calorifique* également *invisible.* Les courbes tracées au-dessus font connaître les intensités relatives de chaque radiation dans les différentes parties du spectre. L'intensité de la lumière est représentée par la courbe R'M'T', celle de l'action chimique par *m*M''P, celle des radiations calorifiques par RMT. On a essayé de représenter ces trois intensités respectives par les zones 1 (lumière), 2 (chaleur) et 3 (action chimique).

Ainsi, nous ne voyons pas tout ce qui se passe dans la nature. Les rayons lumineux sont les seuls que nous voyions. Les rayons calorifiques et chimiques agissent, mais sans que nous les percevions. Nous vivons au milieu d'un immense monde invisible.

Le pouvoir éclairant des différents rayons consiste dans l'aptitude plus ou moins grande qu'ils possèdent d'ébranler le nerf optique de l'homme. Il est probable que la faculté de percevoir les phénomènes lumineux n'a pas la même échelle pour tous, et qu'elle est beaucoup plus étendue chez certains animaux que chez l'homme, soit du côté du rouge, soit du côté du violet. L'eau pure possède un pouvoir absorbant très-considérable pour les rayons thermiques. Les humeurs que contient l'œil diffèrent peu de l'eau pure, et c'est là ce qui rend l'organe de la vue insensible aux rayons calorifiques.

L'étendue des ondes lumineuses sensibles à l'œil correspond ordinairement à ce qu'on appelle en acoustique une octave, de sorte que l'homme n'est mis en relation avec la nature que par une très-faible partie des radiations solaires. Et cependant quelle immense variété de sensations et quelle beauté de contrastes! Sans entrer dans les considérations esthétiques, il est impossible de ne pas faire ici une remarque importante : on a cru pendant longtemps que la radiation lumineuse était le seul mode d'action du Soleil sur le monde; cependant elle est très-secondaire et peu importante, comparée aux autres radiations. Que sont donc les impressions produites sur la matière délicate de notre rétine, si nous les comparons avec les modifications que la chaleur fait éprouver à tous les corps et avec les actions moléculaires que produisent les rayons chimiques?

Les gaz possèdent la faculté d'absorber les rayons *calorifiques*, et par conséquent notre atmosphère absorbe une portion très-considérable de ces rayons. Les ondes les plus longues sont celles qui sont plus facilement absorbées; aussi un grand nombre de rayons moins réfringents qui tombent sur notre atmosphère sont arrêtés, et ne parviennent pas jusqu'à nous.

L'absorption produite par les gaz simples, oxygène et azote, est extrêmement faible; si l'on fait varier la pression de 5 à 760 millimètres, cette même absorption varie à peu près dans le rapport de 1 à 15. Il n'en est pas de même des gaz composés qui se trouvent dans notre atmosphère, comme l'acide carbonique, la vapeur d'eau, l'ammoniaque et quelques autres. Le professeur P. M. Garibaldi, de Gênes, a prouvé, par des expériences péremptoires,

que, pour une pression de 760 millimètres, ces gaz ont des pouvoirs absorbants représentés par les nombres qui suivent :

Air atmosphérique	1
Acide carbonique	92
Ammoniaque	546
Vapeur d'eau	7937

Une quantité de vapeur d'eau capable de produire une pression de 9 à 10 millimètres, exerce déjà une absorption cent fois plus grande que celle de l'air atmosphérique.

Ainsi, une portion considérable des rayons obscurs partis du Soleil est interceptée par la vapeur d'eau contenue dans l'air, sans pouvoir arriver jusqu'à la surface de la terre; cette absorption est plus considérable pour les rayons calorifiques que pour les rayons lumineux, car les ondes, à mesure que leur longueur diminue, acquièrent une propriété de plus en plus grande de traverser les milieux transparents.

On peut séparer les rayons lumineux des rayons calorifiques pour mesurer leur valeur respective. Pour obtenir ce résultat, on fait passer un faisceau de rayons solaires à travers une couche de sulfure de carbone contenant de l'iode en dissolution. Les rayons deviennent invisibles sans perdre leur pouvoir calorifique, et si le vase qui contient cette dissolution a la forme d'une lentille convergente, il se développe au foyer invisible de cette lentille une température assez élevée pour déterminer l'inflammation des corps combustibles[1]. Le rapport des radiations lumineuses aux radiations obscures est égal à $\frac{13}{320}$ pour le platine incandescent. Pour le soleil, la chaleur qui accompagne la partie lumineuse est seulement $\frac{1}{9}$ de celle qui se trouve dans la partie obscure.

L'Atmosphère terrestre, en absorbant une portion si considérable des rayons solaires, ne les anéantit pas, elle les tient en réserve pour les employer plus tard à notre avantage. Elle agit exactement comme une *serre*, laissant arriver les rayons calorifiques jusqu'à la Terre, et s'opposant ensuite à ce qu'ils s'en retournent se perdre dans l'espace. Les rayons à ondes très-longues ne sont plus capables de traverser l'Atmosphère, ce qui produit une accumulation de chaleur dans les couches les plus basses. De plus, la radiation nocturne est considérablement diminuée par la pré-

1. Le professeur Tyndall a placé un jour son œil au foyer, et sa rétine n'a subi aucune influence lumineuse. Les rayons calorifiques étaient cependant si ardents, qu'une feuille de métal a été immédiatement portée au rouge là où l'œil n'avait rien éprouvé !

sence de l'air atmosphérique, et par là se trouve ralenti et diminué le refroidissement du globe et des plantes qu'il nourrit. La vapeur d'eau agit avec une très-grande efficacité, et une couche humide ayant quelques mètres seulement d'épaisseur arrête le refroidissement nocturne autant que le fait l'Atmosphère tout entière.

Mais le fait qui doit le plus nous frapper ici, c'est l'absorption de calorique qui accompagne la transformation de l'eau en vapeur. L'eau s'évapore en masse considérable, surtout dans les régions équatoriales, et elle absorbe ainsi une grande quantité de chaleur de vaporisation qui demeure latente. Il faut autant de chaleur pour vaporiser un kilog. d'eau que pour échauffer d'un degré 537 kilog. d'eau! La vapeur d'eau absorbe cette énorme proportion de chaleur, qu'elle restitue du reste intégralement quand elle repasse à l'état liquide par la pluie. Cette chaleur a pour destination d'être transportée vers les latitudes les plus lointaines, et d'établir dans l'enveloppe atmosphérique qui entoure le globe, une égalité de température que la radiation directe serait loin de produire par elle-même. La quantité de chaleur qui passe ainsi de l'équateur aux pôles est inimaginable. Voyez plutôt :

Des observations nombreuses et assez précises nous ont appris que, dans les régions équatoriales, l'évaporation enlève chaque année une couche d'eau ayant au moins 5 mètres d'épaisseur. Supposons que dans les mêmes régions il tombe annuellement une couche de pluie de 2 mètres, il reste encore une quantité d'eau représentée par une couche de 3 mètres, et qui doit passer, à l'état de vapeur, dans les contrées plus rapprochées des pôles. On peut évaluer à 70 millions de milles géographiques la surface sur laquelle se produit l'évaporation; et, en partant de cette donnée, on trouve que la couche de 3 mètres représente un volume d'eau égal à 721 trillions de mètres cubes (721×10^{12}). La quantité de chaleur contenue dans cette masse de vapeur serait capable de faire fondre des montagnes de fer dont le volume mesurerait 11 milliards de mètres cubes!

Cette masse énorme de chaleur passe pour ainsi dire *incognito* de l'équateur aux pôles, transportée par l'action de la vapeur, et cette vapeur, en se transformant en eau et en glace, laisse échapper toute la chaleur qu'elle avait absorbée, contribuant ainsi à adoucir le climat de ces régions désolées. Les rayons solaires sont comme un agencement de poulies et de cordes, tirées sans cesse par des mains invisibles, occupées à élever des seaux d'eau jusqu'à la hauteur des nuages. Le commandant Maury fait remarquer qu'on

n'aurait jamais obtenu un pareil résultat avec un gaz proprement dit, car, pour transporter par l'*air* seul la même quantité de chaleur, il aurait fallu l'échauffer jusqu'à la température des fournaises.

Ainsi se distribue la chaleur dans l'atmosphère. Ainsi se préparent les nuages et les pluies dont nous parlerons bientôt.

L'épaisseur des couches d'air traversées par les rayons solaires influe notablement sur la chaleur et sur la lumière reçues. Comme, au lieu de descendre verticalement vers la terre, les rayons calorifiques arrivent obliquement, la perte est d'autant plus grande que les rayons ont une obliquité plus prononcée. On a soumis cette perte à différents calculs : les deux formules qui semblent présenter le plus d'accord sont celles de Bouguer et de Laplace. En faisant usage de ces formules, on arrive aux résultats suivants, sur l'épaisseur des couches d'air pour diverses hauteurs du soleil.

Hauteur sur l'horizon.	Distance au zénith.	Épaisseur des couches d'air.
90°	0	1 00
70	20	1 06
50	40	1 30
30	60	1 99
20	70	2 90
15	75	3 80
10	80	5 51
5	85	10 21
4	86	12 15
3	87	14 87
2	88	18 88
1	89	25 13
0	90	35 50

On voit que si l'on représente par 1 l'épaisseur de l'atmosphère traversée par un rayon du soleil au zénith, l'épaisseur traversée par les rayons du soleil à l'horizon est plus de 35 fois plus grande. Cette différence est bien plus forte qu'on ne peut l'indiquer dans une figure de démonstration comme la suivante (fig. 98).

Le premier résultat de cette inégalité, c'est que la lumière du soleil s'affaiblit d'autant plus que l'astre du jour est plus oblique sur la verticale. Au zénith et dans les hauteurs du ciel, le soleil est éblouissant, et nul œil humain ne saurait soutenir son éclat. Au lever et au coucher nous pouvons fixer nos regards sur son disque rougi sans en être aveuglés. Les étoiles ne sont visibles qu'à une certaine hauteur, et l'on ne voit selever et se coucher que celles de première grandeur. D'après les recherches de Bouguer, si l'on représente par le chiffre 10000 l'intensité lumi-

neuse du soleil hors l'Atmosphère, son intensité aux différents points au-dessus de l'horizon est représentée par les chiffres suivants :

A 50 degrés	....	8123
A 30 —	....	7624
A 20 —	....	6613
A 10 —	....	5474
A 5 —	....	3149
A 4 —	....	1201
A 3 —	....	802
A 2 —	....	454
A 1 —	....	192
A 0 —	....	467

C'est-à-dire qu'au lever et au coucher du soleil, cet astre paraît 1354 fois moins brillant qu'au zénith et 1300 fois moins qu'à sa hauteur de midi sur notre horizon au solstice d'été. Ces compa-

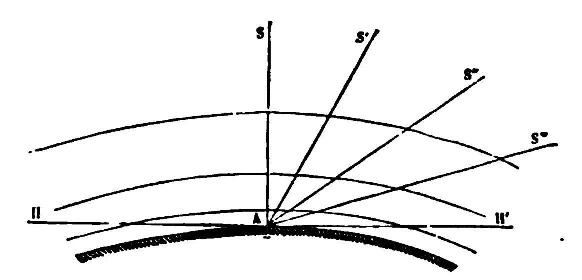


Fig. 98. — Inégalité de l'épaisseur d'air traversée par le soleil suivant ses positions.

raisons supposent un ciel pur, et varient par conséquent suivant l'état plus ou moins brumeux de l'Atmosphère.

La chaleur varie comme la lumière, suivant l'obliquité. Les observations les plus exactes nous prouvent que l'Atmosphère absorbe, suivant la verticale, les $\frac{28}{100}$ de la chaleur qui tombe sur sa surface, et l'absorption totale dans l'hémisphère illuminé est à peu près égale aux $\frac{3}{5}$ de la chaleur incidente, de sorte qu'aux différentes hauteurs la partie transmise est représentée comme il suit :

Hauteur.		Quantité transmise.
Au zénith	....	0 72
A 70 degrés	....	0 70
A 50 —	....	0 64
A 30 —	....	0 51
A 10 —	....	0 16
A 0 —	....	0 00

On voit facilement par la petite coupe de la figure 99 que l'absorption est considérable pour l'horizon H ou H' des observateurs B et C, et faible pour le zénith du point A.

Nous avons vu tout à l'heure que ce n'est pas l'air lui-même, c'est-à-dire le mélange formé des gaz oxygène et azote, qui absorbe le plus de chaleur, mais la vapeur d'eau qui existe dans l'air, dans des proportions d'ailleurs très-variables.

Les rayons lumineux passent presque en entier et pénètrent jusqu'au sol; les calorifiques sont au contraire absorbés dans une forte proportion. Si donc l'Atmosphère empêche une bonne partie de la chaleur solaire d'arriver à la surface de notre globe, par compensation elle jouit de la propriété de retenir celle qui est parvenue à l'échauffer. Sans l'Atmosphère et sans la vapeur d'eau qu'elle renferme, le rayonnement du sol s'effectuant presque sans obstacle vers l'espace interplanétaire, la déperdition serait énorme, comme il arrive du reste dans les hautes régions. Aussitôt le soleil couché, un refroidissement rapide succéderait à la chaleur intense des rayons directs du soleil; en un mot, il y aurait entre les maxima et les minima de température, soit diurnes, soit mensuels, des différences énormes. C'est ce qui arrive sur les plateaux élevés du Thibet, et ce qui explique la rigueur des hivers et l'abaissement des lignes isothermes dans ces régions. Tyndall dit avec beaucoup de justesse : « La suppression, pendant une seule nuit d'été, de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère qui couvre l'Angleterre (et cela est vrai pour tous les pays de zones semblables), serait accompagnée de la destruction de toutes les plantes que la gelée fait périr. Dans le Sahara, où le *sol est de feu et le vent de flamme*, le froid de la nuit est souvent très-pénible à supporter. On voit, dans cette contrée si chaude, de la glace se former pendant la nuit. »

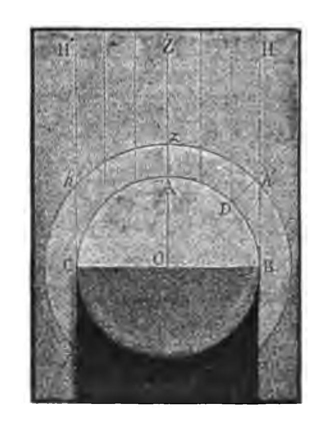


Fig. 99. — Absorption de la chaleur solaire par l'atmosphère.

L'humidité n'est pas répandue en proportion égale dans toute la hauteur de l'Atmosphère. Nous verrons au Livre V qu'elle diminue au delà d'une certaine hauteur. La chaleur *traverse d'autant mieux l'air qu'il renferme moins d'humidité.* Il reste froid, en laissant passer la chaleur.

Lorsqu'on a dépassé les régions inférieures de l'Atmosphère, et en général l'altitude de 2000 mètres, on ne peut s'empêcher de constater l'accroissement très-sensible de la chaleur du soleil relativement à la température de l'air ambiant. Ce fait ne m'a jamais plus impressionné que dans une ascension aéronautique, le 10 juin 1867, lorsque, nous trouvant à 7 heures du matin à une hauteur de 3300 mètres, nous avons eu pendant une demi-heure 15 degrés de différence entre la température de nos pieds et celle de nos têtes; ou, pour mieux dire, entre la température de l'intérieur de la nacelle (ombre) et celle de l'extérieur (soleil). Le thermomètre à l'ombre marquait 8 degrés; le thermomètre au soleil, 23 degrés. Tandis que nos pieds souffraient de ce froid relatif, un ardent soleil nous brûlait le cou, les joues, et en général les parties du corps directement exposées à la radiation solaire.

L'effet de cette chaleur est encore augmenté par l'absence du plus léger courant d'air.

Dans une ascension postérieure à celle-ci, j'ai éprouvé en même temps la différence singulière de 20 degrés entre la température de l'ombre et celle du soleil, à 4150 mètres d'altitude. Le premier thermomètre marquait — 9°,5 au-dessous de zéro; le second, + 10°,5. Cependant ce fait me frappa moins que le premier, parce que j'avais appris à l'étudier.

Cet écart du rapport de la température de l'air à celle d'un corps exposé au soleil s'accuse et se manifeste en raison de la décroissance de l'humidité. La radiation solaire, la différence entre la chaleur directement reçue de l'astre radieux et la température de l'air, *augmente* à mesure que *diminue* la quantité de vapeur d'eau répandue dans l'Atmosphère. Cette constatation permanente de la transparence de l'air privé d'eau pour la chaleur établit que c'est la vapeur qui joue le plus grand rôle dans l'action de conserver la chaleur solaire à la surface du sol.

Ces résultats doivent être mieux dégagés de toute influence étrangère que ceux qui proviennent d'observations faites sur les montagnes, car, dans ce dernier cas, la présence des neiges et du rayonnement doit avoir un effet constant, tandis que les observations aéronautiques s'accomplissent dans des régions absolument libres.

L'influence de l'altitude sur l'intensité de l'action calorifique du soleil en des points dont les projections sur le sol sont peu distantes entre elles a été étudié récemment avec beaucoup d'attention par M. Desains et un collaborateur, d'une part à Lucerne, au Schweizerhoff, d'autre part à l'hôtel du Righi-Culm, à environ

1450 mètres au-dessus du lac. Ces expériences ont montré qu'à la même heure, et toutes choses égales d'ailleurs, la radiation solaire était plus intense au sommet du Righi qu'à Lucerne, mais qu'elle y était moins facilement transmissible à travers l'eau et l'alun. Voici des nombres :

Le lundi 13 septembre 1869, à $7^h,45^m$ du matin, par un beau temps, l'action des rayons solaires au sommet du Righi imprimait une déviation de 27°,2 à l'aiguille de l'appareil. A Lucerne, au même instant, un second appareil accusait une déviation de 22°,5. En exprimant ces résultats en centièmes, on arrive à cette conclusion, que ce jour-là, les rayons solaires en traversant, sous un angle de 70 degrés environ avec la normale, la couche d'air comprise entre le niveau du Righi-Culm et celui de Lucerne, éprouvaient dans ce passage une perte de 17 pour 100.

On voit par ces considérations que les températures terrestres ne dépendent pas seulement de la quantité de chaleur reçue du Soleil, mais encore et surtout de la différence des *pouvoirs absorbants* de l'air sur les rayons des sources lumineuses et obscures. Il en est de même dans les autres planètes, et l'influence des atmosphères est telle, que malgré son rapprochement du Soleil, Mercure peut jouir d'une température plus basse que celle de la terre, si la couche de gaz qui l'entoure est constituée en conséquence, et Jupiter peut offrir à sa surface des climats plus chauds que les nôtres malgré son éloignement.

L'analyse spectrale de la lumière, qui lit dans le rayon décomposé d'une flamme les éléments qui la constituent inscrits en caractères ineffaçables, a pu récemment déterminer la nature des atmosphères planétaires. En examinant au spectroscope le rayon venu d'un feu allumé à quelques lieues de distance, on a constaté que l'air traversé par ce rayon absorbe en partie la lumière et interpose un voile, ou pour mieux dire un tissu de lignes diversement disposées, dont les unes sont dues à l'oxygène, les autres à l'azote, les autres à la vapeur d'eau, les autres encore à l'acide carbonique, à l'ammoniaque, à l'iode. Cette méthode si ingénieuse permet de constater la quantité de vapeur d'eau qui existe dans les lieux où l'on expérimente. De même, en examinant le rayon venu d'une autre planète, telle que Vénus, Mars et Jupiter, on remarque que les rayons solaires qu'elles nous réfléchissent sont modifiés par un tissu de lignes dépendantes de leurs atmosphères traversées par ces rayons. C'est ainsi qu'on a vérifié l'existence déjà indiquée astronomiquement d'atmosphères à la surface des

planètes, et de plus trouvé qu'il y a de la vapeur d'eau dans les trois que je viens de nommer. Ces résultats sont dus surtout aux travaux ingénieux de mon savant confrère Janssen. Dans Jupiter et dans Saturne, on a remarqué de plus l'indication illisible d'un élément gazeux qui n'existe pas dans notre atmosphère.

La vapeur d'eau répandue dans l'atmosphère joue le principal rôle au point de vue de la distribution de la température. Dans l'atmosphère tranquille qui enveloppe la sphère terrestre, il y a sans cesse une action lente et silencieuse, qui s'opère invisiblement devant nos yeux aveugles, et qui est si formidable que nul calcul humain ne saurait la représenter.

Devant l'œuvre permanente de cette puissance, l'oxygène et l'azote ne sont plus rien, et les millions de tonnes d'acide carbonique qui brûlent dans la vie végétale et animale disparaissent comme une ombre légère.

Vapeur d'eau légère et transparente qui s'élève du lac limpide, brouillard qui flotte sur les mers, rosée du matin sur les fleurs, nuages blancs ou orangés du ciel, pluie ou neige, torrent de la montagne, source gazouillante au fond des bois, ruisseau qui murmure ou fleuves géants qui traversent les nations : depuis la source chaude minérale jusqu'au glacier suspendu au front des Alpes, depuis la petite goutte d'eau que saisit l'hirondelle rasant la rivière jusqu'à la nuée noire et horrible chargée d'éclairs : tout cet ensemble, tout ce vaste système de la circulation de l'élément liquide à la surface du globe, représente le fonctionnement d'une usine fantastique dont les travaux du pandémonium de Vulcain au fond du Tartare ne nous donneraient encore qu'une idée affaiblie. Représentons-nous la France sillonnée de rivières innombrables faisant marcher des millions de moulins, couverte d'un réseau serré de chemins de fer occupé par des milliers de locomotives circulant nuit et jour : tout le bruit, tout le mouvement, tout le travail accompli par ces moulins et ces machines infatigables ne représenterait qu'un jeu d'enfant à côté du travail accompli par la nature dans le système de circulation des eaux.

Nous avons senti plus haut quel est le travail opéré par la simple évaporation de l'eau des mers sous l'action des rayons du soleil; nous avons constaté que la masse d'eau évaporée s'élève à 721 trillions de mètres cubes (721 000 000 000 000). La quantité énorme de chaleur qui produit cet effet pourrait fondre par an 11 milliards de mètres cubes de fer, c'est-à-dire une masse dont le volume égalerait plusieurs fois celui du massif des Alpes!

Voilà le travail gigantesque qui s'accomplit par la force de la chaleur solaire. Mais le travail infinitésimal qui se produit par la même cause infatigable n'est pas moins merveilleux.

Un mouvement perpétuel s'accomplit incessamment dans la nature entière, mouvement inapprécié et auquel on ne songe guère; et cependantce mouvement est si considérable, que si nos sens nous permettaient de le percevoir nous en serions véritablement effrayés. A chaque instant, mille mouvements viennent frapper notre corps.

Sommes-nous à la campagne, au milieu des prairies ou sur le versant d'un coteau boisé? L'air, qui toujours marche, constitue à l'état de vent ou de brise insensible un premier mouvement général nous baignant d'une vaste effluve. La chaleur solaire, ou simplement la température ambiante, élève autour de nous des couches de densités différentes se succédant suivant les lois du calorique. La lumière croise devant nous, à travers nos yeux, derrière nous, sur nos têtes, en tous sens, des millions de rayons agissant sur l'éther invisible par des vibrations si rapides que chaque seconde en renferme des trillions pour un seul rayon, et cela incessamment. Les couleurs des objets qui nous entourent, des plantes, de fleuves, du ciel, des eaux, entre-croisent leurs fluctuations rapides et innombrables. Les bruits, lointains ou rapprochés, développent dans l'air les ondes sonores successives qui, semblables à des cercles, décrivent mille courbes invisibles, entremêlées, mais non confondues. L'oiseau qui chante, le gland qui tombe du chêne séculaire, le bûcheron qui frappe, la laveuse à la fontaine sont autant de centres de mouvements ondulatoires. La chaleur propre de notre corps même forme en nous un centre de rayonnement, et incessamment des quantités définies de chaleur s'échappent de toute notre personne, quantités qui s'accentueraient de suite au thermomètre. Dans notre organisme, d'ailleurs, le battement de notre cœur ne cesse point une seconde, la circulation du sang dans nos artères, et son retour au cœur par les veines se perpétue sans oubli, en même temps que par le jeu alternatif de notre respiration, nos poumons s'occupent de distribuer à notre corps la quantité d'oxygène qui lui convient.

Sommes-nous dans notre chambre tranquillement étendus dans un fauteuil, les pieds sur les chenets, un livre dans les mains? Les mêmes mouvements que nous venons de rappeler s'accomplissent autour de nous et dans nous. Nous ne pouvons tendre le talon au feu sans qu'un système de mouvements invisibles ne se crée immé-

diatement entre notre pied et le charbon flamboyant. On ne peut toucher du doigt le clavier du piano, sans qu'une série d'ondes sonores ne s'envolent dans notre appartement (et souvent même à de trop grandes distances pour les voisins!). On ne peut causer même à voix basse, sans que l'air soit traversé de vibrations sphériques. Et ainsi nous vivons sans nous en douter au milieu de myriades de myriades de mouvements constamment effectués et incessamment renouvelés dans l'Atmosphère au sein de laquelle nous respirons, vivons et agissons.

Si la nature, dit A. de Humboldt, avait donné la puissance du microscope à nos yeux, et une transparence parfaite aux téguments des plantes, le règne végétal serait lui-même loin d'offrir l'aspect de l'immobilité qui nous semble être un de ses attributs. A l'intérieur, le tissu cellulaire des organes est incessamment parcouru et vivifié par les courants les plus divers. Tels sont les courants de rotation qui montent et qui descendent, en se ramifiant, en changeant continuellement de direction. Tel est le fourmillement moléculaire, découvert par le grand botaniste Robert Brown, et dont toute matière, pourvu qu'elle soit réduite à un état de division extrême, doit certainement présenter quelque trace. Qu'on ajoute à ces courants et à cette agitation moléculaire les phénomènes de l'endosmose, de la nutrition et de la croissance des végétaux, ainsi que les courants formés par les gaz intérieurs, et l'on aura une idée des forces qui agissent, presque à notre insu, dans la vie en apparence si paisible des végétaux.

Ainsi travaille sans cesse la chaleur solaire absorbée par l'air atmosphérique sous lequel cette planète respire.

Après avoir apprécié l'œuvre de la chaleur solaire à travers l'Atmosphère et à la surface du globe, nous devons maintenant compléter cette première vue sommaire en remarquant que la puissance de cette chaleur diminue à mesure qu'on s'élève vers les hauteurs de l'enveloppe atmosphérique, parce qu'elle n'est plus retenue et utilisée par cette Atmosphère de plus en plus raréfiée. Nous avons vu (p. 45 et diagramme) que l'air diminue à mesure qu'on s'élève dans son sein. La température décroît dans une proportion analogue, que nous allons mesurer aussi exactement que possible, comme nous l'avons fait pour la diminution de la pression atmosphérique. Après les indications du baromètre, voici celles du thermomètre.

Quand on s'élève en ballon vers un ciel nuageux, la température s'abaisse d'ordinaire jusqu'à ce qu'on arrive aux nua-

ges; quand on les a dépassés, on observe toujours une élévation de quelques degrés; puis la température va de nouveau en s'abaissant. Quand on s'élève par un ciel clair, la température initiale est, toutes choses égales d'ailleurs, plus élevée que dans le cas précédent, et la différence est mesurée à peu près par l'élévation qu'on observe en sortant des nuages. Jamais la diminution de chaleur n'est absolument régulière; on trouve presque toujours dans l'Atmosphère des couches d'air chaud, et parfois on en rencontre quatre ou cinq successivement jusqu'à de grandes hauteurs. Ces alternances, comme cette variabilité du ciel, n'empêchent pas un fait général de se manifester : celui de la décroissance de la température à mesure qu'on s'élève davantage.

Voici le résultat de la série d'observations que j'ai faites sur ce sujet dans mes six cents lieues de voyages aéronautiques.

« La décroissance de la température de l'air, qui joue un si grand rôle dans la formation des nuages et dans les éléments de la météorologie, est loin de suivre une voie régulière et constante. Elle varie selon les heures, les saisons, l'état du ciel, l'origine des vents, l'état de la *vapeur d'eau*, etc. Ce n'est que par un très-grand nombre d'observations qu'on pourra parvenir à dégager une règle déterminée, l'action de plusieurs causes secondaires agissant sans cesse et devant d'abord être connue et éliminée.

« Il résulte de 550 observations aérostatiques, faites au sein de ces conditions si dissemblables, et pourtant moins mauvaises que les conditions des observations faites sur les montagnes, il en résulte, dis-je, que la décroissance de la température de l'air diffère d'abord selon que le ciel est pur ou couvert : elle est plus rapide lorsque le ciel est pur; elle est plus lente lorsque le ciel est couvert.

« Dans un ciel pur, l'abaissement moyen de la température a été trouvé de 4 degrés pour les 500 premiers mètres à partir de la surface du sol; de 7 degrés pour 1000 mètres; de 10°,5 pour 1500 mètres; de 13 degrés pour 2000 mètres; de 15 degrés pour 2500 mètres; de 17 degrés pour 3000 mètres; de 19 degrés pour 3500 mètres. Moyenne : 1 degré pour 189 mètres.

« Dans un ciel nuageux, l'abaissement de la température a été trouvé de 3 degrés pour les 500 premiers mètres; de 6 degrés pour 1000 mètres; de 9 degrés pour 1500 mètres; de 11°,5 pour 2000 mètres; 16 degrés pour 3000 mètres; 18 degrés pour 3500 mètres. Moyenne : 1 degré pour 194 mètres.

« La température des nuages est supérieure à celle de l'air situé au-dessous et au-dessus.

« Le décroissement est plus rapide dans les régions voisines de la surface du sol et se ralentit à mesure qu'on s'élève.

« Le décroissement est plus rapide le soir que le matin, et pendant les journées chaudes que pendant les journées froides.

« On rencontre parfois dans l'Atmosphère des régions plus chaudes ou plus froides que la moyenne de l'altitude, et qui traversent l'Atmosphère comme des fleuves aériens. Ces variations n'empêchent pas la loi générale énoncée plus haut d'être l'expression de la réalité.

« La différence entre les indications du thermomètre de l'ombre et celles du thermomètre du soleil augmente à mesure qu'on s'élève dans les hauteurs de l'Atmosphère[1]. »

Ainsi, le résultat général de ces ascensions aériennes est que la température décroît de 1 degré par 190 mètres d'élévation environ, tantôt plus, tantôt un peu moins.

Le résultat des célèbres et nombreuses observations aérostatiques de Glaisher est peu différent de celui-ci.

Les ascensions de montagnes ont fourni un certain nombre de données importantes, parmi lesquelles il est nécessaire de considérer les suivantes :

A. de Humboldt a trouvé que le décroissement était, dans l'Amérique du sud, de 1 degré pour 191 mètres dans les montagnes, et pour 243 mètres sur les plateaux. Une série de lieux dans l'Inde méridionale donne 177 mètres; dans le nord de l'Indoustan, au contraire, 226 mètres, nombre qui se rapproche de celui que Humboldt a observé dans l'Amérique pour les plateaux. Partout on arrive à des différences de niveau analogues : 247 mètres dans la Sibérie occidentale, nombre qui se change en 243, si la comparaison comprend les lieux élevés de l'Inde septentrionale. Aux États-Unis on trouve 222 mètres pour 1 degré[2].

C'est la configuration des pays qui paraît être l'élément le plus important. Si le terrain s'élève doucement, ou si le pays se com-

1. Extrait de mes communications à l'Institut. Année 1868.

2. Tandis qu'à l'équateur la loi du décroissement est à peu près la même en toutes saisons, les régions polaires offrent, au contraire, les plus grandes différences entre l'été et l'hiver. D'après une série de quatre jours d'observations faites de demi-heure en demi-heure, les membres de la Commission du Nord ont trouvé au Spitzberg (latitude 77° 30′), au mois d'août 1838, un décroissement moyen de 1 degré pour 172 mètres. Ce résultat, calculé par Bravais, coïncide avec les décroissements observés dans les zones tempérées. La différence de hauteur des stations était de 560 mètres.

En hiver, la température va en croissant avec la hauteur, jusqu'à une certaine

pose de gradins successifs, le décroissement de la température est beaucoup plus lent que sur le flanc des montagnes abruptes. Dans le premier cas, on peut admettre pour 1 degré une différence de niveau de 235 mètres, et 195 seulement dans le second.

Un décroissement de 1° pour 168 mètres a été trouvé par Schouw pour l'Italie (versant méridional des Alpes).

Sur le mont Ventoux, montagne escarpée et isolée de la Provence (lat. 44° 10′ N., long. 2° 56′, hauteur 1911 mètres sur la Méditerranée), Ch. Martins a trouvé, par 19 observations faites dans différentes circonstances, un décroissement de 1 degré pour 188 mètres en hiver, 129 mètres en été, 144 mètres en moyenne. Les observations de Ramond, comprises entre le 43° et le 44° degré de latitude, donnent en moyenne 1 degré pour 148 mètres.

La conclusion de tous ces résultats, c'est qu'une température constamment supérieure à celle de la glace fondante règne, comme on le voit, en chaque lieu à une hauteur suffisamment grande dans l'Atmosphère.

Si l'on imagine qu'en chaque point de la surface de la terre on élève des verticales assez grandes pour qu'on obtienne la hauteur à laquelle régnerait la température moyenne 0°, et si l'on fait passer une surface par les sommets de toutes ces coordonnées verticales, on obtiendra la surface isotherme de 0°; son intersection avec le globe sera la ligne isotherme correspondante; on pourra obtenir par la même considération géométrique les surfaces iso-

limite, variable suivant diverses circonstances atmosphériques, dont l'influence n'est pas encore bien exactement connue. L'heure de la journée paraît être indifférente, puisqu'il n'existe aucune variation diurne thermométrique dans les couches de la surface. La moyenne de trente-six expériences faites avec des cerfs-volants ou des ballons captifs, à Bosekop (latitude 69° 58′ N.), a donné un état moyen d'accroissement de 1°,6 pour les 100 premiers mètres. Au delà de cette limite, et même au delà des 60 à 80 premiers mètres, la température devient de nouveau décroissante, mais très-lentement d'abord ; le décroissement s'accélère ensuite. Les observations qui ont été faites sur les flancs ou les sommets des montagnes pendant la même expédition, confirment entièrement ces résultats. L'influence réfrigérante d'un sol qui rayonne sa chaleur propre durant plusieurs semaines sans rien recevoir de la part du Soleil en compensation de ses pertes, l'influence des contre-courants supérieurs venus de l'O. et du S. O. avec une température élevée, rendent raison de cette anomalie, qui représente en hiver l'état normal des parties les plus boréales du continent européen.

Parmi les observations faites pour déterminer le décroissement, celles recueillies dans des voyages aérostatiques offrent un intérêt tout particulier, ajoute M. Ch. Martins; les températures y sont moins affectées par des circonstances locales, telles que l'échauffement du sol, les courants ascendants ou descendants, etc., et la série qu'offrent de telles températures est plus susceptible d'être accordée avec la série des températures décroissantes des régions supérieures de l'atmosphère.

thermes de 5°, de 10°, etc. Ces surfaces s'éloignent du centre de la terre vers l'équateur; elles s'en rapprochent vers les pôles.

Nous avons vu que la température moyenne de Paris est de 10°,7. Pour obtenir une diminution de cette valeur par l'altitude, il faut s'élever en moyenne de 1600 mètres. C'est donc à cette hauteur que règne au-dessus de Paris la température de

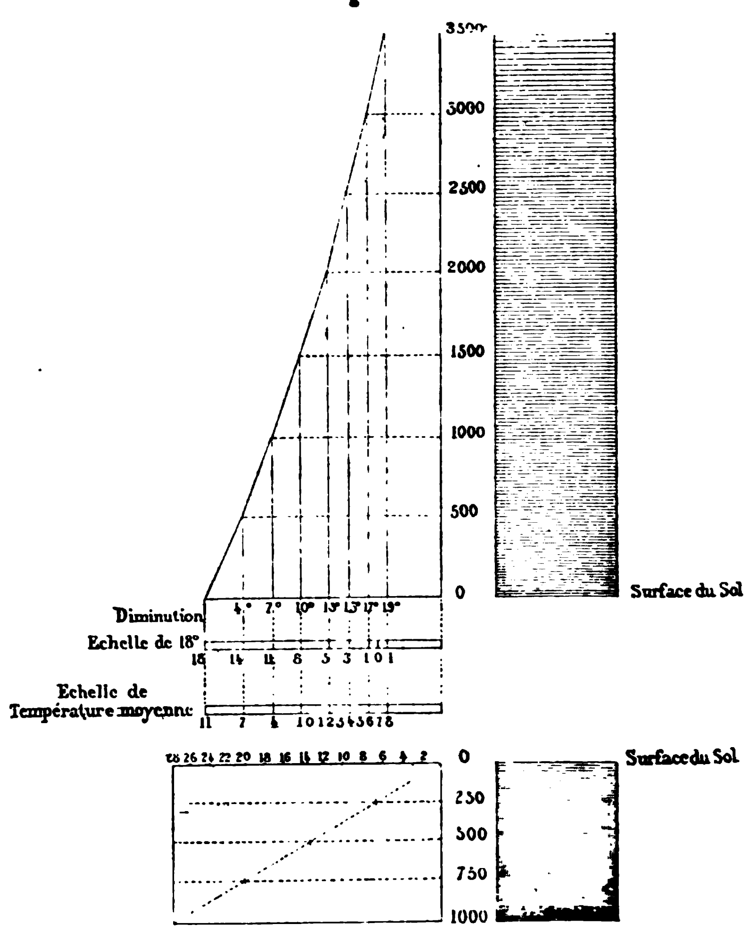


Fig. 100. — Diagramme de la décroissance de la température, selon la hauteur.

la glace. Mais c'est évidemment là un type autour duquel oscille sans cesse la température, en ne le réalisant qu'en avril et en octobre. En été, il faut s'élever à de très-grandes hauteurs, et parfois à plus de 4000 mètres pour atteindre le zéro thermométrique. En hiver, comme chacun sait, il se trouve souvent au niveau du sol. Il y a alors de curieuses inversions de température

dans les couches atmosphériques qui avoisinent la surface du globe.

J'ai essayé de représenter dans la figure 100 le décroissement moyen de la température avec la hauteur, par la même méthode que j'ai employée dans la figure 16 (p. 46) pour exprimer le décroissement de la pression atmosphérique. La température décroissante est représentée par une teinte décroissante proportionnelle. A partir de la surface du sol, la diminution est de 4° pour 500 mètres, de 7° pour 1000 mètres, etc. S'il y a, par exemple, 18° (température d'été) à la surface, il y a 14° à 500 mètres, 11° à 1000, et le zéro est à 3250 mètres. Par la température moyenne de l'année, il y a 11° vers la surface du sol, et le zéro est vers 1670 mètres. Au-dessous de la surface du sol, j'ai également indiqué par une teinte croissante et par une ligne géométrique l'accroissement de température de 1 degré par 35 mètres environ, plus rapide, comme on voit, que le décroissement atmosphérique, puisqu'à la profondeur de 250 mètres on a déjà un accroissement de chaleur de 7 degrés, 14° à 500 mètres et 28° à 1 kilomètre.

Nous pouvons maintenant ajouter que ce décroissement varie avec la saison et avec l'heure de la journée. Les observations que de Saussure a continuées pendant dix-sept jours au col du Géant, à 3428 mètres au-dessus de la mer, tandis qu'on observait simultanément à Genève (407 mètres) et à Chamounix (1044 mètres), ont mis l'influence horaire en évidence. Voici d'après les observations que Kaëmtz a faites sur le Righi (1810 mètres), tandis qu'on observait à Bâle, à Berne, à Genève et à Zurich, la hauteur en mètres dont il faut s'élever pour avoir un décroissement de 1 degré :

DIFFÉRENCE DE NIVEAU CORRESPONDANT A UN ABAISSEMENT DE 1 DEGRÉ THERMOMÉTRIQUE A TOUTES LES HEURES DE LA JOURNÉE.

Heures.	Righi.	Heures.	Righi.
Midi	129m 81	Minuit	163m
1 heure	131 75	1 heure du matin	168 40
2 —	128 83	2 —	174 63
3 —	127 08	3 —	180 68
4 —	124 35	4 —	185 16
5 —	121 81	5 —	186 33
6 —	122 01	6 —	178 92
7 —	127 86	7 —	168 01
8 —	135 65	8 —	153 19
9 —	144 42	9 —	144 42
10 —	152 02	10 —	139 36
11 —	158 46	11 —	121 93

Moyenne 149m,10

Cette loi de la variation de la hauteur à laquelle il faut s'élever pour avoir un abaissement de 1 degré du thermomètre, aux différentes heures de la journée, est représentée dans la figure 101.

Les irrégularités de sa courbe indiquent que le nombre d'observations n'est pas suffisant.

De Saussure a observé pendant la nuit; Kaëmtz étant seul a pu

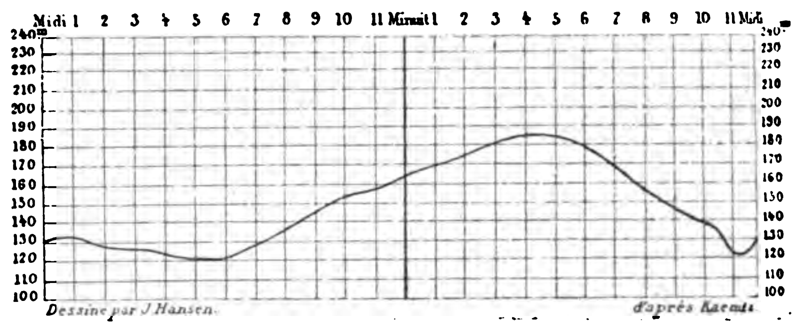


Fig. 101. — Hauteur à laquelle il faut s'élever pour trouver un abaissement de 1 degré, suivant les heures.

lire le baromètre depuis 5 heures du matin jusqu'à 10 heures du soir, et les lois du décroissement nocturne sont déduites de celles du jour. Ce tableau met clairement en évidence la pé-

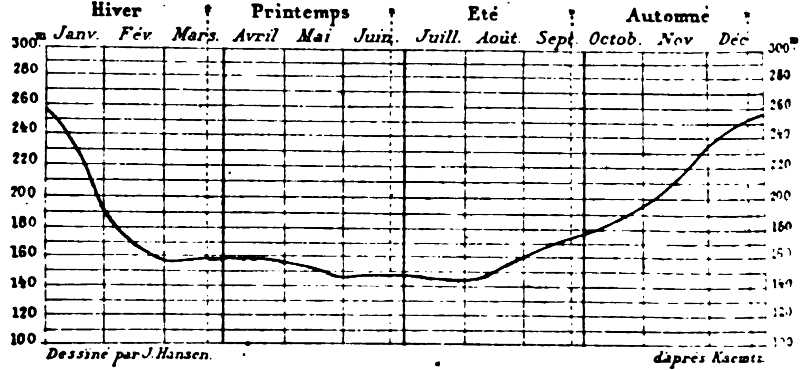


Fig. 102. — Hauteur à laquelle il faut s'élever pour trouver un abaissement de 1 degré, suivant les saisons.

riode diurne. C'est vers 5 heures du soir que le décroissement de la température est le plus rapide, et vers le lever du soleil qu'il est le plus lent. La différence correspondant à ces deux instants, déduite des observations, égale environ le tiers de la hauteur dont il faut s'élever en moyenne pour obtenir un abaissement de 1 degré.

La période annuelle n'est pas moins marquée dans nos climats;

les séries météorologiques simultanées faites à Genève et sur le Saint-Bernard permettent d'en calculer les lois. Kaëmtz a choisi 30 points situés au sud et au nord des Alpes, entre 45 et 50 degrés de latitude et les méridiens de Vienne et de Paris, et en a déduit les lois de la distribution de la chaleur dans cette surface. Il a obtenu ainsi la hauteur en mètres dont il faut s'élever pour avoir un abaissement de 1° suivant les mois. La table suivante contient les résultats fournis par ces différents points de comparaison.

DIFFÉRENCE DE NIVEAU CORRESPONDANT A UN ABAISSEMENT DE 1 DEGRÉ THERMOMÉTRIQUE DANS LES DIVERS MOIS DE L'ANNÉE.

Mois.	Allemagne méridionale et Italie septentrionale.
Janvier	257m 27
Février	193 54
Mars	159 63
Avril	160 60
Mai	157 87
Juin	148 32
Juillet	148 71
Août	145 98
Septembre	161 96
Octobre	177 75
Novembre	195 49
Décembre	233 49
Année	172m 68

La loi de la différence de niveau qui correspond à un abaissement de 1°, suivant les différents mois de l'année, est représentée par la figure 102. C'est la courbe de l'Allemagne méridionale et de l'Italie septentrionale. Ses irrégularités indiquent aussi que les observations ne sont pas encore assez nombreuses.

En résumé, on voit qu'en été le thermomètre baisse beaucoup plus vite à mesure qu'on s'élève qu'en hiver.

Il résulte de ce décroissement inégal que la différence entre les moyennes de l'hiver et celles de l'été est d'autant moindre qu'on s'élève davantage dans les montagnes. Dans les plaines de la Suisse, à la hauteur de 400 mètres environ, elle est de 19 degrés. Sur le Saint-Gothard, à 2091 mètres, elle est de 14°,9, et sur le Saint-Bernard, à 2493 mètres, de 13°,5. De Saussure, qui le premier fit cette importante remarque, pensait que les différences entre les saisons doivent disparaître à la hauteur de 12000 à 13000 mètres.

CHAPITRE III.

LES SAISONS.

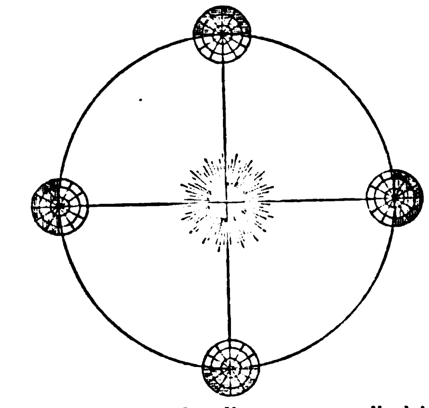
MÉCANISME ASTRONOMIQUE DES SAISONS SUR LES DIFFÉRENTES PLANÈTES. SAISONS TERRESTRES MÉTÉOROLOGIQUES. LEURS INFLUENCES SUR LA VIE DES PLANTES, DES ANIMAUX ET DES HOMMES. — SUR LES DÉCÈS, LES NAISSANCES ET LES MARIAGES.

L'action générale du Soleil à la surface de la Terre varie, comme tout le monde le sait, d'une semaine à l'autre, du jour au lendemain. La cause de ces variations a été déterminée par la science aussi bien que l'intensité de l'action générale. Saisons et climats sont expliqués géométriquement par l'inclinaison variable du sol relativement aux rayons solaires. Et par la même comparaison géométrique, nous connaissons également la valeur des saisons sur les autres planètes de notre système.

Pour nous rendre exactement compte des variations de température suivant les saisons successives de l'année, il est nécessaire que nous connaissions précisément d'abord le mécanisme astronomique auquel les saisons elles-mêmes sont dues.

Nous avons vu que le globe terrestre circule en un an autour du Soleil, et tourne sur lui-même en un jour. Supposons d'abord que l'axe de rotation soit *perpendiculaire au plan* dans lequel la planète se meut, ce qui est à peu près le cas de Jupiter, dont l'équateur n'est incliné que de 3 degrés. Pendant toute la durée de l'année, le jour est égal à la nuit (fig. 103), le soleil reste dans le plan de l'équateur, et son élévation reste la même pour chaque point du globe tous les jours de l'année. Dans cette situation de l'axe, il n'y a pas de saisons, et la température décroît

lentement de l'équateur aux pôles. Il n'y a pour ainsi dire qu'une zone tempérée sur toute la planète.


Fig. 103. — Planète dont l'axe est perpendiculaire.

Supposons au contraire que l'axe de rotation soit *couché* sur le plan dans lequel la planète se meut. Au solstice *a*, le soleil se trouve à l'extrémité de l'axe, et plane directement sur le pôle : l'équateur a le minimum de température. Un quart d'année plus tard, le soleil se trouve sur l'équateur. Après la demi-année écoulée, c'est l'autre pôle qui a le soleil à son zénith. Puis il repasse de nouveau par l'équateur, avant de revenir sur le pôle par lequel nous avons commencé. Dans cette situation, dont la planète Vénus approche singulièrement, son inclinaison étant de 75 degrés, les saisons sont à leur maximum d'effet; chaque point du globe est soumis tour à tour à la rigueur du plus grand froid et à l'ardeur de la plus haute température. Il n'y a pas de zones tempérées, mais des zones torrides et glaciales empiétant sans cesse l'une sur l'autre.

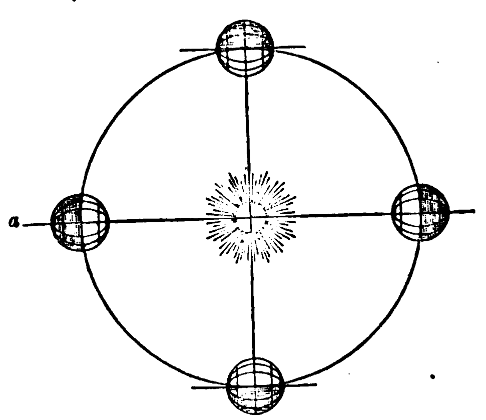
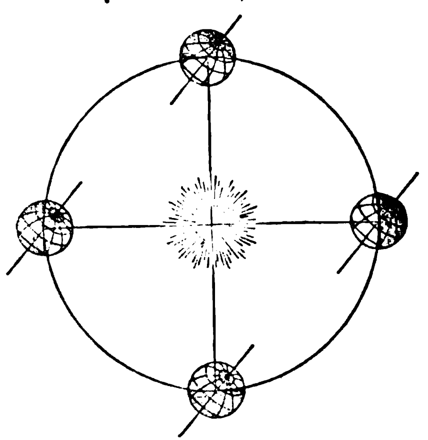


Fig. 104. — Planète dont l'axe est couché.

Supposons enfin qu'au lieu d'être dans la première ou dans la seconde de ces positions extrêmes, l'axe de rotation soit dans une situation intermédiaire, incliné par exemple de 67 degrés : nous avons dans ce cas des saisons qui,


Fig. 105. — Planète dont l'axe est incliné.

sans être extrêmes, sont néanmoins très-sensiblement marquées. C'est le cas de la planète que nous habitons. Son axe de rotation fait avec l'écliptique l'angle que je viens d'inscrire, c'est-à-dire que son équateur est incliné sur le plan de l'écliptique suivant un angle de 23 degrés. C'est cette *obliquité* de l'écliptique qui nous donne nos saisons.

L'axe de rotation de la Terre restant toujours parallèle à lui-même, pendant le cours entier de la translation du globe autour du Soleil, on voit qu'aux deux positions extrêmes de l'orbite, le pôle nord et le pôle sud se présentent tour à tour au Soleil sous un angle maximum de 23 degrés. C'est l'époque des solstices. Au solstice du pôle nord, c'est-à-dire d'été pour notre hémisphère, le 21 juin, le soleil s'élève jusqu'à 23 degrés au-dessus de l'horizon de ce pôle. L'opposé arrive au solstice d'été du pôle sud, qui est le solstice d'hiver pour le nôtre et arrive le 21 décembre.

Le 20 mars, à l'époque de l'équinoxe de printemps, le plan de l'équateur passe par le Soleil. Les deux pôles de la planète sont alors symétriquement placés par rapport au Soleil, et le cercle de séparation de l'hémisphère éclairé et de l'hémisphère obscur est précisément un méridien. Il en résulte que chaque point du globe, emporté par la rotation diurne, décrit dans la lumière la moitié de la circonférence, et dans l'ombre l'autre moitié: la durée du jour est partout égale à celle de la nuit.

Mais à mesure que la Terre va s'avancer dans son cours, comme l'axe garde la même situation, le pôle nord s'offre de plus en plus aux rayons solaires, et le cercle de rotation diurne d'une latitude boréale fait progressivement un plus long chemin dans la lumière que dans l'ombre. La durée du jour surpasse celle de la nuit, et en même temps que la durée d'exposition au Soleil, par conséquent la quantité de chaleur reçue.

Tel est le simple mécanisme des saisons. Examinons ce qui se passe dans la distribution de la température.

Le 21 mars, l'horizon de Paris, par exemple, comme toute autre surface de notre hémisphère, est échauffé pendant douze heures consécutives; mais en même temps cette surface est refroidie par voie de rayonnement vers l'espace, pendant les mêmes douze heures de jour et pendant les douze heures de nuit qui leur succèdent, c'est-à-dire en tout pendant vingt-quatre heures. Il n'est pas possible de dire *à priori* si la perte surpasse le gain; mais examinons ce qui se passe le 22 mars.

Ce jour-là, les rayons solaires échaufferont l'horizon pendant un

peu plus de douze heures. Quant au refroidissement par rayonnement, il s'opérera comme la veille, pendant vingt-quatre heures. Or, ce qui prouve incontestablement que l'action échauffante, quoique ne s'exerçant que pendant environ douze heures, est supérieure, à cette époque de l'année, à l'action refroidissante, que l'horizon a plus gagné qu'il n'a perdu, c'est qu'abstraction faite des circonstances accidentelles, la température du 22 mars surpasse généralement celle du 21.

Nous arriverons au même résultat en comparant la température du 23 à celle du 22, et ainsi de suite.

Les rayons calorifiques du Soleil produisent des effets de plus en plus considérables jusqu'au 21 juin, parce qu'ils exercent leur

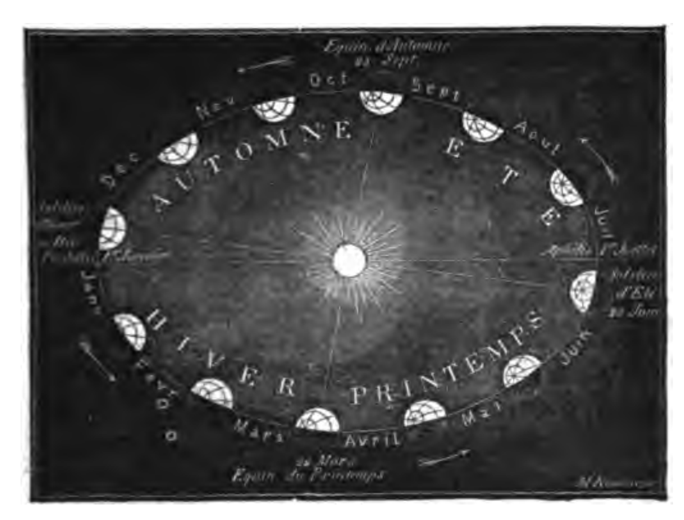


Fig. 106. — La translation de la Terre autour du Soleil, et les Saisons.

action pendant des périodes graduellement plus longues, les jours augmentant sans cesse de longueur jusqu'à l'époque du solstice. Toutefois cette cause, quoique prépondérante, n'est pas la seule qui occasionne les effets en question.

Considérons l'inclinaison sous laquelle les rayons solaires tombent sur la généralité des objets dont l'horizon de Paris se compose, à midi, par exemple. Cette inclinaison, comptée à partir de la surface, va en croissant jusqu'au 21 juin; donc, les rayons absorbés, ceux qui seuls peuvent contribuer à l'échauffement des objets terrestres, comme nous l'avons vu, iront chaque jour en augmentant vers le solstice.

Une troisième cause d'échauffement également influente doit

être signalée ici, ajoute Arago. Le Soleil peut être considéré comme le centre d'une sphère d'où partiraient des rayons dans toutes les directions imaginables. Or, si à une certaine distance du centre de cette sphère on suppose un horizon d'une étendue déterminée exposé à l'action de ces rayons divergents, cet horizon en embrassera un nombre d'autant plus considérable qu'il se présentera à eux dans une direction plus voisine de la perpendiculaire. Qui ne voit que dans tous les midis compris entre le 21 mars et le 21 juin, un horizon quelconque dans nos climats se présente en effet aux rayons solaires dans des directions de plus en plus voisines de la perpendiculaire?

Ainsi, en résumé, depuis le 21 mars jusqu'au 21 juin, l'horizon de Paris reçoit de jour en jour plus de rayons solaires; ces rayons arrivent avec plus d'intensité, sous des inclinaisons de plus en plus favorables pour l'absorption; enfin, leur action a chaque jour une plus grande durée.

L'accroissement de température ne s'arrête pas au 21 juin. En effet, les jours restant plus longs que les nuits, notre hémisphère continue de recevoir plus de chaleur pendant le jour qu'il n'en perd pendant la nuit; cependant les rayons solaires devenant de plus en plus obliques, diminuent graduellement d'intensité; on arrive vers le 15 juillet à égalité entre le gain et la perte. C'est le maximum de la température annuelle.

Maintenant, il est certain que, depuis cette époque jusqu'au 21 décembre, les jours deviennent de plus en plus courts; que l'action solaire va sans cesse en diminuant; que ces rayons arrivent de plus en plus affaiblis, parce qu'ils traversent des couches atmosphériques plus étendues et moins diaphanes; que l'inclinaison de la lumière à midi et à des heures voisines de ce moment de la journée, par rapport à cet horizon ou à tout autre situé dans l'atmosphère nord, et comptée à partir de sa surface, devient de plus en plus grande, et est alors moins propre à l'absorption; que cet horizon reçoit une quantité de rayons solaires sans cesse décroissante. De toutes ces raisons réunies, il résulte que la température de l'horizon de Paris et de tout autre horizon situé dans l'hémisphère nord, doit toujours aller en diminuant; mais il n'est pas évident de soi-même qu'il y aura compensation, le 21 décembre, jour du solstice d'hiver, entre le rayonnement vers l'espace et les causes échauffantes, qui ont été sans cesse en s'affaiblissant

L'observation montre, en effet, qu'à Paris la compensation parfaite n'arrive qu'après le 2 janvier; c'est, abstraction faite des

causes accidentelles, la première semaine de janvier qui est la plus froide de l'année. A partir de cette époque, et jusqu'au 15 juillet suivant, la température va toujours en augmentant, ainsi que nous l'avons déjà expliqué, en prenant le 21 mars pour point de départ.

Toute cette série de raisonnements s'appliquerait à l'horizon d'un lieu situé dans l'hémisphère sud, comme Paris est situé dans l'hémisphère nord. Seulement nous trouverions, et ce résultat est conforme aux observations, que les mois les plus chauds dans l'hémisphère nord seraient les plus froids dans l'hémisphère sud, et réciproquement.

Voltaire tournait en dérision notre globe, parce qu'il se présente au soleil *de biais et gauchement*. M. Babinet remarque que le ridicule qu'il jette sur notre pauvre planète est moins fondé qu'il ne semble l'admettre, car cette position gauche qu'il critique est précisément ce qui porte la vie chaque année aux deux pôles opposés. Sans elle, cette vie terrestre ne serait pas ce qu'elle est.

Rien n'est plus utile que de porter un regard d'ensemble sur les opérations de la nature, de s'élever au-dessus des idées étroites de ceux qui n'ont point perdu de vue leur clocher natal, pour étendre ses regards sur le pays et même sur la partie du monde qu'on habite. L'Europe, fière de sa population de 250 millions d'hommes, avec sa puissance intellectuelle et guerrière, occupe la zone tempérée, et par les deux caps extrêmes de l'Espagne et de la Grèce n'atteint même pas le 36e parallèle, laissant encore toute l'Afrique septentrionale et toute l'Égypte entre elle et la zone torride. Aussi, d'après la tendance naturelle qui nous porte à donner une importance exclusive à ce qui nous entoure, il nous semble toujours bizarre d'entendre parler des chaleurs intolérables de décembre et de janvier qu'éprouvent les habitants de l'autre hémisphère, au cap de Bonne-Espérance, dans l'Australie ou dans le Chili. Les froids de juillet et d'août, dans les mêmes contrées, ne nous paraissent pas moins étranges. Cependant, puisque les saisons sur la Terre offrent déjà bien des circonstances extraordinaires, combien n'en trouverions-nous point, non pas en allant de notre pôle européen asiatique et américain, au pôle opposé, mais bien en allant de la région ardente où la planète Mercure se meut sous les feux d'un soleil sept fois plus chaud qu'il ne l'est pour la Terre, jusqu'aux confins du système solaire, où Neptune occupe provisoirement la dernière place, recevant des rayons neuf cents fois plus froids que ceux qui, pour notre Europe, font ces grandes divisions de l'année : le printemps, l'été, l'automne et l'hiver, dont les productions

sont si capitales pour l'homme, tandis que rien de semblable n'existe dans les latitudes intertropicales!

Les saisons astronomiques sont comptées à partir des équinoxes et des solstices. Le printemps commence le 20 mars, l'été le 21 juin, l'automne le 22 septembre et l'hiver le 21 décembre. Ce sont toujours là, pour chaque année, à un jour près, les époques astronomiques du commencement des saisons.

Évidemment ces époques ne devraient pas être appliquées aux *saisons météorologiques*, qui sont, en définitive, pour nos impressions et nos appréciations directes, les véritables saisons. Elles devraient être établies de part et d'autre à égale distance du maximum et du minimum moyens de la température.

Ainsi, à Paris, le jour le plus froid est en moyenne le 2 janvier, et le jour le plus chaud le 19 juillet. Il en est de même, à très-peu près, à Bruxelles. A Bordeaux, c'est le 5 janvier et le 23 juillet. A Montpellier, c'est le 5 janvier et le 26 juillet. A Marseille, c'est le 5 janvier et le 23 juillet, etc. En réalité, pour Paris, si l'on compte les saisons du quart de l'année ou de 90 jours, l'hiver devrait être compté à partir de 45 jours avant le maximum général du froid et jusqu'à 45 jours après ce même point, autrement dit, du 19 novembre au 17 février. L'été réel, la période de plus haute température, devrait être compté, par la même raison, 45 jours avant le 19 juillet jusqu'à 45 jours après, c'est-à-dire du 5 juin au 3 septembre. Le printemps serait formé par la période qui sépare le 17 février du 5 juin, et l'automne par la période qui sépare le 3 septembre du 19 novembre.

On peut objecter à ce mode de classification qu'il ne s'appliquerait pas à toutes les localités et manque de la précision nécessaire à la pratique. Sans doute. Mais on ne saurait disconvenir qu'il ne réponde mieux à la marche de la température que la classification astronomique. Et, en fait, depuis longtemps les météorologistes se bornent à considérer la méthode astronomique comme moyen de comparaison générale, et se sont peu à peu accoutumés par la pratique à faire commencer l'hiver avant le 21 décembre et l'été avant le 21 juin.

Pour établir une concordance plus directe entre les saisons atmosphériques et les saisons météorologiques, on pourrait convenir de placer les solstices au milieu de l'hiver et de l'été, au lieu de les placer au commencement. Ainsi le 21 décembre serait le milieu de l'hiver (commençant le 7 novembre et finissant le 4 février). Le 21 juin serait le milieu de l'été (commençant le 18 mai et finissant le 5 août). On aurait ainsi les mêmes saisons; seulement la seconde moitié de chacune d'elles serait plus accusée que la première, celle de l'hiver plus froide et celle de l'été plus chaude, le maximum du froid comme le maximum de la chaleur arrivant *après* les solstices. Ce serait là une manière plus exacte de compter les saisons, qui pourrait s'appliquer non-seulement à tous les points de la France, mais encore à toute l'Europe et à tout notre hémisphère.

La classification la plus simple et qui se trouve en même temps suffisamment adaptée à la marche moyenne de la température, est celle que la plupart des météorologistes emploient aujourd'hui. L'année se divise en quatre périodes de trois mois pleins. L'Hiver se compose des mois de décembre, janvier et février; le Prin-

temps, des mois de mars, avril et mai; l'Été, de juin, juillet et août; l'Automne, de septembre, octobre et novembre.

Sur l'hémisphère austral, les saisons sont inverses des nôtres. A notre solstice d'hiver, au 21 décembre, le soleil arrive là-bas à sa plus grande hauteur: c'est leur solstice d'été. A notre solstice d'été, au 21 juin, le soleil arrive pour eux à son minimum de hauteur au-dessus de leur horizon : ce sont leurs jours les plus courts et leur hiver. Quand nous avons l'automne nos antipodes ont le printemps et *vice versa*. On se rend facilement compte de cette inversion en considérant l'inclinaison constante de l'axe de rotation terrestre et la translation annuelle du globe autour du Soleil.

C'est à la succession harmonique des saisons que la Terre doit son éternelle parure et sa vie impérissable. Chaque printemps apporte la résurrection à la surface de la planète rayonnante, qui rajeunit dans une adolescence sans fin sous les fécondes caresses dont l'enveloppe le radieux Soleil. « Saisons, filles chéries de Jupiter et de Thémis », s'écriait déjà il y a trois mille ans le premier poëte Orphée, « vous qui nous comblez de biens! saisons verdoyantes, fleuries, pures et délicieuses! saisons aux couleurs diaprées répandant une douce haleine! saisons toujours changeantes : accueillez nos pieux sacrifices, apportez-nous le secours des vents favorables qui font mûrir les moissons. »

Ainsi sont maintenant déterminées les causes qui donnent naissance aux variations de température suivant le cours de l'année. Après en avoir ainsi esquissé le mécanisme astronomique, nous allons entrer dans les détails et apprécier les chiffres exacts des mouvements thermométriques.

Figurons-nous la Terre accomplissant en un an sa course autour du Soleil, et revenant à la même position après avoir présenté successivement ses deux pôles aux rayons de l'astre de la lumière et de la chaleur. Si nous partons du printemps, nous voyons les neiges qui ont recouvert une grande partie des continents septentrionaux disparaître pour faire place à une active végétation; les arbres se couvrent de verdure, et les plantes que l'hiver a fait périr renaissent de leurs graines pour rivaliser de feuillage avec les végétaux permanents; les fleurs, les graines, les rejetons assurent la reproduction, et les espèces sociales, tant les plantes que les arbres, envahissent le sol, par le seul bénéfice de la force d'association. C'est ainsi que nous observons d'immenses forêts de pins, de chênes et de hêtres, et des plaines sans bornes couvertes exclusivement de chardons, de trèfle et de bruyères. Une des plus cu-

rieuses conséquences de la marche bien observée des saisons, c'est que les riches moissons qui alimentent en Europe le quart du genre humain sont, quant à leur cause, dues à l'hiver tout autant qu'au printemps, qui développe les céréales, et à l'été, qui les mûrit. En effet, si le blé n'était pas astreint à périr dans l'hiver, si ce n'était pas, suivant l'expression des botanistes, une plante annuelle, elle ne monterait pas en épis et ne produirait pas les utiles récoltes qui, depuis Cérès et Triptolème, ont assuré l'alimentation des populations nombreuses de l'Europe, et même ont donné naissance à ces populations. Pour se convaincre de cette vérité, il n'y a qu'à descendre plus au midi, dans l'Afrique, dans l'Asie et dans l'Amérique. Dès que l'on arrive dans un climat où l'hiver ne tue point nécessairement les céréales, la plante devient vivace comme l'herbe l'est chez nous; elle se propage en rejetons, reste constamment verte et ne fait ni épis, ni grains. Là, ce sont d'autres végétaux, comme le millet, le maïs, le doura et diverses racines, qui donnent les fécules nutritives.

A la fin du printemps et au commencement de l'été, le soleil, qui s'est avancé vers le nord, fait pulluler dans notre hémisphère et jusqu'auprès du pôle toutes les espèces animales, comme il fait naître et se développer les espèces végétales. Quadrupèdes, oiseaux, poissons, amphibies, insectes, mollusques, animaux microscopiques, peuplent les terres et les mers septentrionales, soit par naissance locale, soit par immigration.

Si nous suivons le soleil dans sa marche rétrograde vers le sud, nous voyons la chaleur de la saison baisser avec la hauteur du soleil à midi, les jours de douze heures reparaître, puis l'automne finissant avec des jours de huit heures et des nuits de seize heures, et enfin l'hiver, dont les jours sont de même grandeur que ceux d'automne, mais qui, succédant à une saison froide, est pour cette raison encore plus froid que l'automne, de même que l'été, dont les jours sont semblables à ceux du printemps, est bien plus chaud que celui-ci, parce qu'il verse ses rayons sur une terre déjà échauffée.

A peine les jours sont-ils arrivés à leur plus grande durée, qu'ils diminuent rapidement; à peine la jeunesse a-t-elle brillé que l'automne de la vie s'annonce. Mais aussi à peine les jours ont-ils raccourci qu'ils grandissent de nouveau : nous n'en pouvons espérer autant sur cette terre, pour nos jours d'hiver, dont la destinée est de s'éteindre dans les glaces du tombeau.

Dans les chapitres qui vont suivre, nous étudierons la marche

particulière de chaque saison, et son aspect caractéristique, depuis l'hiver aux neiges silencieuses jusqu'à l'été verdoyant et généreux. Complétons ici notre esquisse de la marche générale des saisons; considérons son influence sur la vie humaine, démontrée par la statistique, qui, de nos jours, ne respecte plus rien.

Si nous examinons d'abord la mortalité dans chaque pays, nous voyons qu'elle éprouve des variations très-sensibles selon les différents mois de l'année. Déjà de nombreuses recherches ont été présentées sur ce sujet intéressant, et l'on a reconnu que, dans nos climats, les rigueurs de l'hiver sont en général mortelles pour l'espèce humaine.

La vie des plantes et celle des animaux sont intimement liées à la marche des saisons, comme nous l'apprécierons sous une forme spéciale dans le chapitre suivant. La vie humaine, quoique en apparence plus individuelle et plus indépendante, n'en subit pas moins les lois élémentaires de la nature terrestre qui a formé nos corps.

En analysant les proportions des décès de la Belgique suivant les âges, M. Quételet a constaté que les petits enfants sont plus sensibles aux variations de la température. Pendant la première année, la plus grande mortalité des enfants arrive en été, en août, la moindre en avril et novembre.

Après la première année, la mortalité des enfants change complétement : le maximum se présente après l'hiver, et le minimum en été. Vers l'âge de huit à douze ans, ces termes se déplacent un peu et avancent dans l'ordre des mois, jusqu'après l'époque de la puberté, de manière que le maximum des décès s'observe en mai, et le minimum en octobre. Après la puberté, le maximum rétrograde jusqu'à l'âge de 25 ans, et vient se placer invariablement au mois de *février*, jusqu'aux âges les plus avancés. Quant au minimum, il ne quitte plus l'été.

A aucun âge de la vie, l'influence des saisons n'est plus sensible sur la mortalité que dans la première enfance et dans la vieillesse, et à aucun âge elle ne l'est moins qu'entre 20 et 25 ans, lorsque l'homme physique, entièrement développé, jouit de la plénitude de sa force.

Dans la figure 107, la courbe pleine est tracée suivant les nombres généraux de la mortalité en Belgique et en France, à l'exception des villes de Bruxelles, Paris et Lyon. La courbe pointillée est tracée d'après les nombres donnés par ces villes. On voit qu'en outre de la règle générale qui place le maximum de la mortalité en février et le minimum en juin, l'influence des saisons est plus

marquée dans les campagnes que dans les villes, où l'on réunit plus de moyens de se préserver de l'inégalité des températures. La hauteur de la courbe dépend du nombre de morts correspondant à chaque mois[1].

Après les décès, passons aux naissances.

Les documents relatifs aux naissances présentent aujourd'hui les renseignements les plus complets. La période annuelle est bien connue, et ses effets scientifiques ont été appréciés dans la plupart des pays; on prévoit même déjà une période diurne.

Le nombre principal des naissances arrive de février à mars, quelle que soit la nation ou la ville que l'on prenne pour exemple. Les mois de juin et juillet sont ceux où il naît le moins d'enfants. On trouve un second maximum sept mois après le premier, vers le commencement de l'automne.

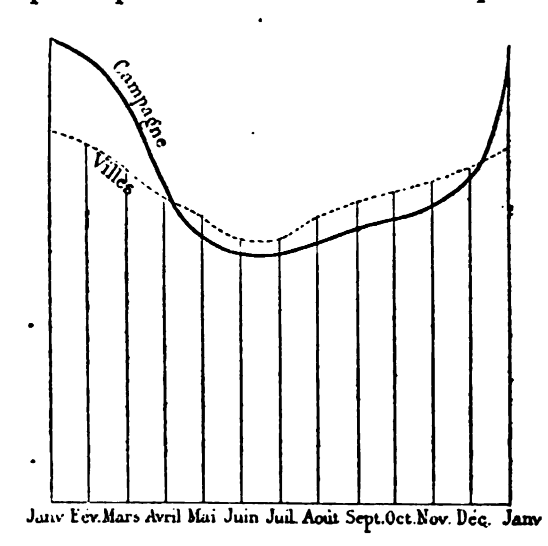


Fig. 107. — Influence des saisons sur les décès.

Il naît environ 55 000 enfants par an à Paris. Le maximum (5100) arrive en mars; le minimum (3900) arrive en juin. Pour la France entière, il y a, presque en nombre rond, un million de naissances par an. Le maximum, qui arrive également en mars, est de 730 000; le minimum, qui arrive en juin, est de 565 000. On aura, du reste, une idée plus facile à saisir de cette influence des saisons

1. Comme exemple d'une année pour la ville de Paris, voici les décès de l'année 1869, divisés par mois (population, 1 825 274 habitants) :

		Moyennes par jour.			Moyennes par jour.
Janvier	4153	134	Juillet	3435	111
Février	3905	139	Août	3630	117
Mars	4485	145	Septembre	3463	115
Avril	4289	143	Octobre	3458	112
Mai	3691	119	Novembre	3766	126
Juin	3443	115	Décembre	4154	134

Maximum, mars; minimum, juillet et octobre. — Total, 45 672.

sur les naissances en examinant la figure 108, dans laquelle la hauteur de la courbe et ses ondulations correspondent aux chiffres mensuels des déclarations officielles de naissances. Ces courbes sont tracées d'après les nombres réunis de la France et de la Belgique.

[On a remarqué, dans certains pays, une échancrure dans la courbe, au mois de décembre, indiquant une diminution de conceptions en mars, produite par l'observation de l'abstinence du carême. C'est ce qu'un relevé de deux siècles a permis de constater en particulier à Versailles par mon savant confrère le docteur Bérigny. Mais, dans ce cas, ce qui manque en mars se reporte sur avril : la nature ne perd pas ses droits.]

L'influence, soit directe, soit indirecte, de la révolution annuelle de la Terre autour du Soleil, des grandes variations de la température que cette révolution détermine, et de certaines constitutions météorologiques, sur les conceptions, et les naissances du genre humain, paraît donc bien évidente. Cette induction est d'autant mieux démontrée que de l'autre côté de l'équateur, où les saisons se succèdent à l'opposé des nôtres, comme par exemple à Buenos-Ayres, le retour périodique des mêmes résultats paraît s'effectuer durant les mêmes saisons, c'est-à-dire à six mois d'intervalle. Le renversement du maximum et du minimum suit exactement celui des saisons. En outre, les époques du maximum et du minimum des conceptions avancent dans les pays chauds et retardent dans les pays froids.

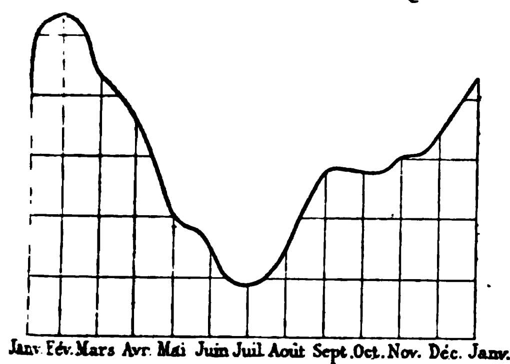


Fig. 108.— Influence des saisons sur les naissances.

Les heures du jour ont aussi une influence sur les naissances. Il naît 5 enfants de 6 heures du soir à 6 heures du matin pour 4 de 6 heures du matin à 6 heures du soir. Le minimum est à 10 heures du matin, le maximum à minuit.

Cette influence est moins prononcée pour les décès. Cependant l'aspect d'un grand nombre de tableaux montre qu'un minimum très-accentué se manifeste entre 6 heures du soir et minuit. On meurt plus le matin.

Ainsi, il résulte de tous les faits cités que, dans notre état de

civilisation, nous sommes, en partie du moins, soumis aux diverses influences périodiques qu'offrent, sous le rapport qui nous occupe, les plantes et les animaux. Les saisons laissent une trace ineffaçable de leur passage par leur influence sur le nombre des naissances et des décès qui s'opèrent, chaque année, dans les divers États de l'Europe. Il peut être curieux de rechercher, d'autre part, s'il en est de même du nombre des mariages. Dans cet ordre de phénomènes, les usages établis et les volontés individuelles doivent avoir une part beaucoup plus grande. Les causes constantes qui déterminent la période, plus assujetties à la volonté humaine et aux habitudes religieuses, doivent avoir des effets marqués chez les différents peuples. Cependant l'influence météorologique n'en reste pas moins marquée.

Janv Fev Mars Avril Mai Juin Juil Août Sept. Oct Nov Dece Janv.

Fig. 109. — Influence des saisons sur les mariages.

Deux maxima se présentent aux mois de mai et de novembre; le maximum de mai est celui qui se prononce surtout de la manière la plus sensible. Le minimum d'été arrive en août. — Mais on remarque pendant l'hiver deux dérangements complets, qui tiennent l'un à la fin de l'année qui fait reporter sur janvier la moitié des mariages qu'il aurait fallu compter en décembre, et l'autre qui, par l'arrivée du carême, fait avancer d'un mois environ les mariages qui sans cela auraient lieu en mars. Ces deux augmentations des nombres de décembre et de mars, faites en diminuant les valeurs de janvier et de février, donnent à la courbe une régularité assez remarquable. — La courbe échancrée de mars et décembre est une courbe sociale. La courbe naturelle serait la courbe pointillée.

C'est ici surtout, dit Quételet, que l'on trouve une admirable confirmation du principe que : Plus le nombre des individus que l'on observe est grand, plus les particularités individuelles, soit physiques, soit morales, s'effacent et laissent prédominer la série des faits généraux en vertu desquels la société existe et se conserve.

CHAPITRE IV.

LA TEMPÉRATURE.

SON ÉTAT MOYEN. — SES VARIATIONS DIURNES ET MENSUELLES. — MARCHE DE LA TEMPÉRATURE A PARIS ET EN FRANCE. — VARIATIONS DE CELLE DES EAUX ET DU SOL. — LES SAISONS DANS L'INTÉRIEUR DE LA TERRE. TEMPÉRATURE DE CHAQUE ANNÉE A PARIS DEPUIS LE SIÈCLE DERNIER. VARIATIONS DIURNES ET MENSUELLES DU BAROMÈTRE.

Nous venons de voir que la planète terrestre en se transportant autour du Soleil par son cours annuel, et en tournant sur elle-même par sa rotation diurne, fait varier l'obliquité des rayons solaires qui lui arrivent. Par sa translation annuelle, elle les fait s'élever pendant six mois, du 21 décembre au 21 juin, sur notre horizon, et s'abaisser pendant les six autres mois de l'année. Par sa rotation, elle amène chaque matin notre horizon au soleil, fait régner l'astre calorifique et lumineux dans les hauteurs du ciel, puis le fait redescendre en apparence en lui inclinant d'autres méridiens. On voit donc tout d'abord que par ce double mouvement de la Terre, il y a ainsi deux marches générales dans l'application de la chaleur solaire à notre planète : l'une annuelle, l'autre diurne.

Occupons-nous d'abord de la marche *diurne*.

Pour l'apprécier exactement, il faudrait nous donner la peine d'observer le thermomètre d'heure en heure, nuit et jour, pendant plusieurs semaines, plusieurs mois, et même plusieurs années, afin de distinguer et d'éliminer au travers de la marche régulière due à la rotation de la Terre, les exceptions si nombreuses qui viennent jeter le trouble dans l'Atmosphère. Peu de météorologistes

ont consenti à s'astreindre à un pareil travail. Ciminello de Padoue l'a fait presque pendant seize mois consécutifs; je dis *presque*, parce que les observations de minuit, une heure, deux heures et trois heures étaient remplacées par deux, faites dans ce même intervalle à des heures variables. C'est le premier météorologiste qui ait fait une série horaire d'observations thermométriques. Depuis on en a fait d'autres (Gatterer, son contemporain, les officiers d'artillerie de Leith, près d'Édimbourg. — Neuber, à Apenrade, en Danemark, Lohrmann, à Dresde, Koller, à Kremsmunster, Kaëmtz, à Halle, et les Observatoires de Milan, Pétersbourg, Munich, Greenwich). Maintenant cette observation continue de fait à l'Observatoire de Rome et dans quelques autres, par un appareil enregistreur automatique. Cette constatation horaire de l'état atmosphérique est organisée à l'Observatoire météorologique spécial de Montsouris.

Il résulte de ces observations, et de milliers d'autres qui ont été faites de deux en deux ou de trois en trois heures, que *c'est vers 2 heures du soir que se presente l'instant le plus chaud du jour*, et que c'est au contraire une demi-heure *avant le lever du soleil* qu'on éprouve l'instant du plus grand froid. Ces deux termes varient peu en passant d'un mois à l'autre.

L'écart entre l'heure la plus chaude et l'heure moyenne la plus froide est de 7 degrés et demi à Paris. Cette valeur, toutefois, est assez variable selon les différents mois de l'année.

La moyenne à l'Observatoire de Paris donne 14°,47 pour le maximum moyen de 2 heures, 7°,13 pour le minimum moyen de 4 heures du matin, et 10°,7 pour la chaleur moyenne de tous les jours de l'année, qui se manifeste à 8 heures 20 minutes du matin et à 8 heures 20 minutes du soir. La figure 110 montre cette variation diurne, tracée d'après la moyenne conclue de plus de cent mille observations par Bouvard, prédécesseur d'Arago à l'Observatoire.

La distance en temps du minimum au maximum pendant le jour est de 10 heures seulement; et elle est de 14 heures en passant de 2 heures après-midi à 4 heures du matin.

Le minimum de la variation diurne devance en général le lever du soleil; au commencement de l'année, il arrive un peu avant 6 heures du matin, et s'en éloigne peu à peu pendant l'allongement progressif des jours. Après février il se présente successivement à 5 heures, puis à 4 heures du matin; il oscille ensuite entre 3 et 4 heures pendant les jours les plus longs. Au commencement d'août, le minimum arrive à 4 heures du matin; puis il

revient successivement se replacer vers 6 heures aux jours les plus courts; il dépasse même légèrement ce point, et reprend bientôt après la marche annuelle que nous venons d'indiquer.

On voit donc que le froid diurne le plus grand, dans nos climats, se manifeste un peu après 6 heures du matin en hiver, et entre 3 et 4 heures du matin en été.

La température *moyenne* d'un jour, dans l'acceplion mathématique de ce terme, représente l'état des températures correspondantes à tous les instants dont le jour se compose. Si l'on fixait à une minute, par exemple, la durée de ces instants, on diviserait par 1440 (nombre de minutes contenues dans 24 heures) la somme des 1440 observations thermométriques faites entre deux minuits consécutifs, et le quotient serait le nombre cherché. En divisant en-

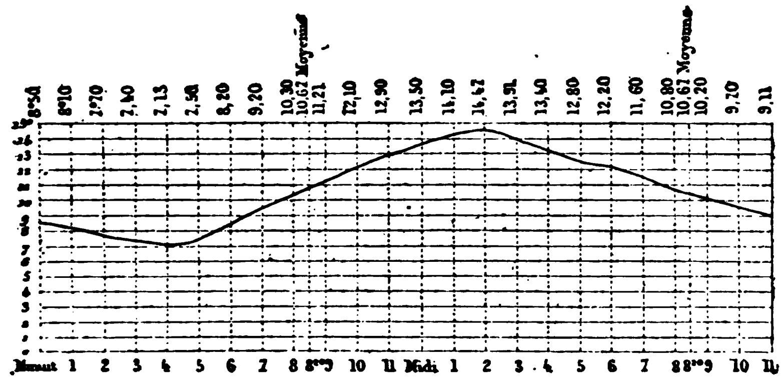


Fig. 110. — Variation diurne de la température moyenne à Paris.

suite par 365 la somme des 365 températures moyennes correspondantes à tous les jours de l'année, on aurait la température moyenne de l'année.

Il semble, d'après la définition précédente, que pour obtenir les températures moyennes avec exactitude, il serait indispensable de se procurer des observations très-rapprochées; mais telle est heureusement la marche du thermomètre, dans les circonstances ordinaires, que la demi-somme des températures maximum et minimum (celles de 2 heures après midi et du lever du soleil) ne diffère presque pas de la moyenne rigoureuse des 24 heures.

Dès 1818, Arago avait indiqué que la température moyenne de 8 h. 20 m. du matin est égale à la température moyenne de l'année. Un grand nombre des observations thermométriques faites

sous sa direction ont été basées sur ce fait du passage de la température par la moyenne deux fois par jour. Mais on a reconnu depuis, que cette méthode laisse à désirer; car de 8 heures à 9 heures du matin, comme de 8 heures à 9 heures du soir, le thermomètre oscille souvent rapidement. On a pris ensuite les moyennes en lisant le thermomètre à 4 heures et 10 heures du matin, à 4 heures et 10 heures du soir, en additionnant et divisant par 4. La moyenne arithmétique des observations de 6 heures du matin, 2 heures de l'après-midi et 10 heures du soir, donne également à peu près la moyenne réelle; les différences peuvent atteindre 2 dixièmes de degré. Depuis que la météorologie a pris le rang qu'elle mérite au nombre des sciences exactes, on a été plus sévère, on a vérifié toutes les comparaisons, et l'on a constaté qu'on peut remplacer exactement les 24 observations horaires par 8 observations trihoraires, faites à 1 heure, 4 heures, 7 heures et 10 heures du matin; 1 heure, 4 heures, 7 heures et 10 heures du soir. C'est ce qui est organisé depuis plusieurs années à l'Observatoire national de Paris, et au nouvel Observatoire météorologique établi au parc de Montsouris.

Occupons-nous maintenant de la marche *annuelle* de la température, dont nous avons étudié le mécanisme astronomique dans le chapitre précédent.

Les causes diverses qui changent l'action calorifique du soleil sont très-peu variables durant toute l'année dans les deux régions voisines de l'équateur, situées, l'une dans l'hémisphère nord, l'autre dans l'hémisphère sud, qu'on appelle les *régions tropicales*, et qui forment la zone torride. Le jour y a, en effet, presque la même durée toute l'année; les hauteurs méridiennes du soleil y sont peu variables; les quatre saisons, eu égard à la température, doivent donc peu différer les unes des autres. Par une raison toute contraire, les saisons sont très-dissemblables au nord comme au midi de l'équateur dans les régions où les jours ont dans l'année des durées très-inégales, ou, ce qui est presque la même chose en d'autres termes, là où les hauteurs méridiennes du soleil changent beaucoup dans le cours de l'année.

Nous avons vu plus haut quelle est la valeur générale des saisons sous nos latitudes. Voyons maintenant les chiffres eux-mêmes. Le tableau suivant résume la moyenne des températures notées à l'Observatoire de Paris.

On y voit que, soit que l'on consulte les maxima moyens de chaque mois, soit que l'on considère les minima moyens, soit enfin

qu'on se contente de prendre les températures moyennes seulement, la chaleur suit une marche croissante de janvier à juillet, et décroissante de juillet à décembre. Le mois le plus chaud est bien celui de juillet, qui suit le solstice d'été, et le mois le plus froid est bien celui de janvier, qui suit le solstice d'hiver. La moyenne des minima n'est qu'une seule fois, pour janvier, au-dessus de zéro; les mois les plus froids sont décembre, janvier et février, et constituent l'hiver climatologique réel; le printemps est formé par les mois de mars, d'avril et de mai; l'été par les trois mois les plus chauds, juin, juillet et août; les trois autres mois, septembre, octobre et novembre, forment le véritable automne.

TABLEAU DES TEMPÉRATURES MOYENNES DE PARIS
(Arago, 1806-1851).

Mois.	Maxima.	Minima.	Moyennes.
Janvier	5°02	—0°87	2°07
Février	7 31	0 67	3 99
Mars	10 01	3 15	6 58
Avril	13 12	6 51	9 81
Mai	18 38	10 67	14 52
Juin	21 12	13 56	17 34
Juillet	22 67	15 41	19 04
Août	22 42	14 57	18 49
Septembre	18 85	12 08	15 46
Octobre	14 64	7 30	10 97
Novembre	9 67	3 91	6 79
Décembre	6 85	0 33	3 59
Températures annuelles	14 17	7 27	10 70

Les moyennes précédentes sont celles qu'Arago a conclues de 46 ans d'observations (1806-1851). Depuis, les observations continuées ont donné un résultat plus conforme encore à l'état moyen séculaire de la température à Paris, puisqu'il représente une plus longue série d'années. La figure 111 montre la courbe très-régulière des températures moyennes mensuelles à l'Observatoire de Paris, conclue des observations de 65 ans (1806-1871) avec les chiffres de ces moyennes générales.

La chaleur reçue du Soleil par la Terre variant avec le carré de la distance, et la planète ne suivant pas une orbite circulaire, il y a en outre de la variation mensuelle due à l'inclinaison des rayons solaires une variation due à la distance. En effet, pendant notre été nous sommes plus éloignés du Soleil que pendant notre hiver; la différence est même assez sensible. Voici quels sont les écarts, en prenant pour unité la distance solaire moyenne, et en regardant

la chaleur comme réciproque au carré de la distance de l'astre échauffant :

	Distance.	Chaleur solaire.
Distance moyenne..............	1.000000	1,0000
Périhélie (en hiver)............	0.983208	1,0345
Aphélie en été	1,016792	0,9673

Ainsi avant même de pénétrer dans notre atmosphère, la différence pour le rayonnement est 1,0345 — 0,9673 = 0,0672; ce qui donne à peu près exactement $\frac{1}{15}$: c'est-à-dire que le rayonnement solaire, pendant l'hiver, est, pour notre globe, environ un

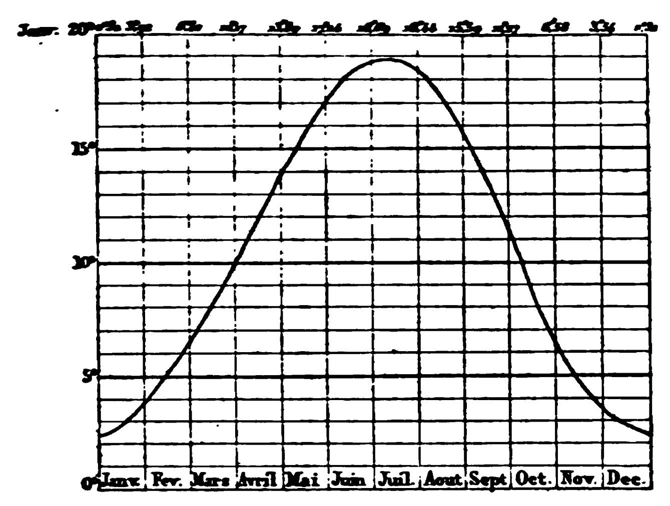


Fig. 111. — Variation mensuelle de la température moyenne à Paris. Observatoire de Paris (1806-1871).

quinzième plus grand que pendant l'été. Cette différence est assez notable pour qu'on doive en tenir compte.

Les variations diurnes et mensuelles de la température sont d'autant plus grandes que l'on est plus éloigné de l'équateur. De l'équateur à 10 degrés de latitude nord les températures moyennes de divers mois varient à peine de 2 ou 3 degrés. A 20 degrés, elles varient de 6 à 7 degrés (juillet = 28, janvier = 21). A 30 degrés, on voit la variation régulière mensuelle moyenne s'élever à 12 degrés (août = 27; janvier = 15). En arrivant en Italie, on voit la courbe régulière de Palerme en Sicile s'étendre de 10°,5 (janvier) à 23°,5 (août), et cette courbe est tempérée encore par le voisinage de la mer. A Paris, nous voyons la courbe moyenne marcher de 2 degrés (janvier) jusqu'à 19 degrés (juillet), et les variations subissent des écarts bien autrement considérables

entre les froids de l'hiver et les chaleurs de l'été. A Moscou, la courbe moyenne mensuelle s'étend depuis — 10°,8 (janvier), jusqu'à 24 degrés (juillet) ; total : 34°,8 de différence moyenne. Enfin nous pouvons encore ajouter à cette échelle de variations celle de Boothia Félix, terre boréale de l'Amérique située au delà du 72e degré. Elle s'étend depuis 40 degrés au-dessous de zéro (février) jusqu'à 5 degrés au-dessus (juillet). Écart = 45 degrés entre les températures moyennes de l'année! (Voy. aux Climats, p. 434, et fig. 129.)

La variation diurne, beaucoup moins prononcée que la variation annuelle, donne également lieu à des courbes significatives dans les températures successives. L'amplitude de l'oscillation thermométrique est plus forte dans les pays chauds et dans l'intérieur des continents que dans les pays froids et dans le voisinage des côtes. A part l'influence égalisatrice des mers, qui reste à peu près la même, la distance à l'équateur agit d'une manière opposée sur les oscillations annuelles et diurnes du thermomètre. Tandis que la première augmente à cause de la longueur des nuits d'hiver et des jours d'été, la seconde diminue parce que dans les pays méridionaux l'ardeur des rayons solaires est plus grande et le ciel plus pur pendant la nuit. On voit, par exemple, qu'à Padoue la variation diurne en juillet est de 9 degrés. Celle de Paris est en moyenne de 7°,5. Celle de Leith en Écosse est de 5 degrés.

Ce sont là des moyennes. Mais si l'on examinait constamment la mobilité de la température d'un lieu déterminé, comme, par exemple, Paris, on trouverait qu'à part ces variations régulières moyennes dues au soleil, il en est d'autres incomparablement plus étendues, qui jouent le plus grand rôle sur la santé publique : ce sont, je ne dirai pas les différences énormes qui existent entre certains froids de janvier et certaines chaleurs de juillet; mais plutôt les variations diurnes subies en 24 heures. Ces différences sont très-curieuses, surtout si l'on prend la température d'un thermomètre au soleil, et la plus basse de la nuit suivante.

Il y a souvent de très-grandes différences entre le maximum et le minimum d'une même journée, surtout dans les mois de mai et juin, différences qui atteignent, à Paris même, jusqu'à 25 et 30 degrés. Voici, par exemple, quelques-uns des maxima observés à l'Observatoire météorologique de Montsouris entre 1 heure et 4 heures de l'après-midi sur un thermomètre à boule verdie, exposé au soleil à 10 centimètres au-dessus du sol gazonné, et quelques-uns des minima constatés au même thermomètre entre

1 heure et 4 heures du matin la nuit suivante. Je choisis ceux qui accusent les plus grandes différences :

	Maximum.	Minimum.	Différence.
11 mai 1870	30,7	4,1	26,6
16 —	30,2	6,0	24,2
17 —	32,7	6,9	25,8
18 —	39,4	12,1	27,3
19 —	41,5	14,4	27,1
20 —	41,9	12,9	29,0
21 —	44,0	16,0	28,0
25 —	30,0	5,0	25,5
27 —	30,8	6,1	24,7
30 —	34,8	10,2	24,6
8 juin	30,5	6,0	24,5
12 —	32,0	8,0	24,0
13 —	33,6	8,5	25,1
14 —	41,9	12,0	29,9
16 —	41,3	16,1	25,2
23 —	40,8	11,7	29,1
29 —	35,1	9,0	26,1
30 —	35,0	7,1	27,9
2 juillet	30,0	6,0	24,0

On voit que dans notre climat les variations diurnes de la température sont parfois considérables. Cette extrême variabilité est du reste l'un des signes particuliers du caractère parisien, aussi versatile et aussi coquet que son atmosphère.

Les recherches précédentes ont eu pour objet de faire apprécier la quantité de chaleur solaire qui pénètre dans les couches aériennes et la partie de cette chaleur qui arrive jusqu'à nous.

Il est intéressant maintenant de rechercher comment les variations de température pénètrent à l'intérieur de la terre, et les limites auxquelles elles s'éteignent.

Les variations *diurnes* dépendent de la rotation de la terre sur son axe, et sont appréciables à plusieurs décimètres de profondeur; puis se présente une couche où elles cessent totalement de se manifester; tandis que les variations *annuelles* dépendantes du mouvement de translation de la terre dans son orbite, y sont encore très-sensibles.

Ces dernières variations sont appréciables, dans nos climats, à plus de vingt mètres de profondeur; au delà se présente une seconde couche qu'on a nommée *couche invariable* des températures, parce que le thermomètre y conserve, pendant le cours de l'année, une hauteur à peu près constante. De sorte que l'on doit

concevoir, au-dessous du sol, deux couches limites, l'une pour les variations diurnes et l'autre pour les variations annuelles du thermomètre.

Il existe bien peu d'observations suivies sur la température de la terre à diverses profondeurs; et la plupart de celles que nous avons ne présentent peut-être pas toutes les garanties désirables. Les physiciens qui se sont occupés de ces sortes de recherches ont en général adopté le même mode d'observation, qui consiste à suivre la marche d'un thermomètre dont les boules plongent en terre à des profondeurs plus ou moins grandes et dont les tubes sont assez longs pour que l'échelle des degrés se trouve placée au-dessus de la surface du sol. Ce n'est que dans ces derniers temps que l'on a commencé à avoir égard à la différence des températures que doit nécessairement prendre le thermomètre à ses deux extrémités, ce qui exige une correction d'autant plus grande que la capacité de la boule est moindre par rapport à celle du tube.

Le plus ancien observateur connu qui se soit occupé, d'une manière suivie, des températures de la terre, est le marchand Ott de Zurich, qui, à partir de 1762, fit des recherches pendant quatre années et demie, avec 7 thermomètres placés à diverses profondeurs. Une autre série d'observations, non moins importante que celle de Zurich, a été faite à Leith, près d'Édimbourg, pendant les années 1816 et 1817. Divers observateurs consciencieux ont depuis étudié attentivement cette question.

En résumant toutes ces observations sous le rapport du temps employé par la température à pénétrer successivement à des profondeurs plus grandes, Pouillet a été conduit aux conclusions suivantes :

1° Au mois d'août, la température de la terre va en *décroissant* d'une manière à peu près uniforme depuis la surface du sol jusqu'à la couche invariable;

2° Pendant le mois de septembre, la température est à peu près uniforme depuis la surface du sol jusqu'à la profondeur de 15 à 20 pieds; plus bas, elle décroît un peu et lentement jusqu'à la couche invariable;

3° Pendant les mois d'octobre et de novembre, la température va en croissant, depuis la surface du sol jusqu'à une profondeur de 15 à 20 pieds; plus bas, elle se trouve à peu près égale à la température de la couche invariable;

4° Pendant les mois de décembre, de janvier et de février, la température va en *croissant* d'une manière à peu près uniforme, depuis la surface du sol jusqu'à la couche invariable;

5° Pendant les mois de mars et d'avril, la température va en décroissant très-rapidement jusqu'à la profondeur de 1 ou de 2 pieds; plus bas, elle décroît moins vite et finit par devenir croissante;

6° Pendant les mois de mai, juin et juillet, la température est encore décrois-

sante, mais moins rapidement et jusqu'à une profondeur plus grande; puis elle redevient encore un peu croissante, pour regagner la température de la couche invariable.

Des diverses séries d'observations qui ont été faites pour constater la marche annuelle de la température au-dessous de la surface du sol, la meilleure me paraît être celle de l'Observatoire de Bruxelles, de 1834 à 1842, organisée par M. Quételet. Je choisis dans cette série trois années, qui mettent bien en évidence cet effet thermométrique selon les profondeurs. Dans la figure 112 la première ligne représente la marche du thermomètre placé à 19 centimètres en terre; la seconde, celle du thermomètre enterré à 45 centimètres; la troisième, celle de la profondeur de 75 centimètres. On voit qu'à partir de cette limite les petites oscillations cessent de se faire sentir. La quatrième ligne est la courbe de la température à 1 mètre. La cinquième courbe est celle de $3^m,90$; et la sixième, celle qui a été donnée par le thermomètre enfoncé à $7^m,80$ de profondeur. Les mois des 3 années successives reproduites ici sont indiqués par leurs initiales. Ces constatations se résument ainsi :

1° La vitesse moyenne pour la transmission de la chaleur à partir de la surface du sol a été de 144 jours pour $7^m,80$, ce qui donne 3 décimètres parcourus en six jours;

2° En comparant les observations de Paris, Strasbourg, Zurich et Bruxelles, on trouve que les variations annuelles sont nulles à une profondeur de 25 mètres;

3° La vitesse avec laquelle les variations *diurnes* des températures se transmettent à l'intérieur de la terre est de 3 heures environ pour une couche de terre d'un décimètre d'épaisseur;

4° Les variations diurnes peuvent être considérées comme à peu près nulles à la profondeur de $1^m,3$, c'est-à-dire à une profondeur dix-neuf fois moindre que celles où s'éteignent les variations annuelles.

La température moyenne de l'année peut se déduire de celles du sol en ayant recours à l'une des trois méthodes suivantes :

1° Par une seule observation, en prenant la température de la terre à une vingtaine de mètres et en la corrigeant de l'élévation de température en raison de cette profondeur, que l'on peut évaluer à 1 degré pour 35 mètres;

2° Par les observations de deux mois séparés d'une demi-année, en prenant la température à quelques mètres de profondeur seulement;

3° Par les observations de quatre mois également espacés en lisant des thermomètres placés à l'air libre ou à la surface du sol.

La loi du décroissement des variations annuelles de la tempéra-

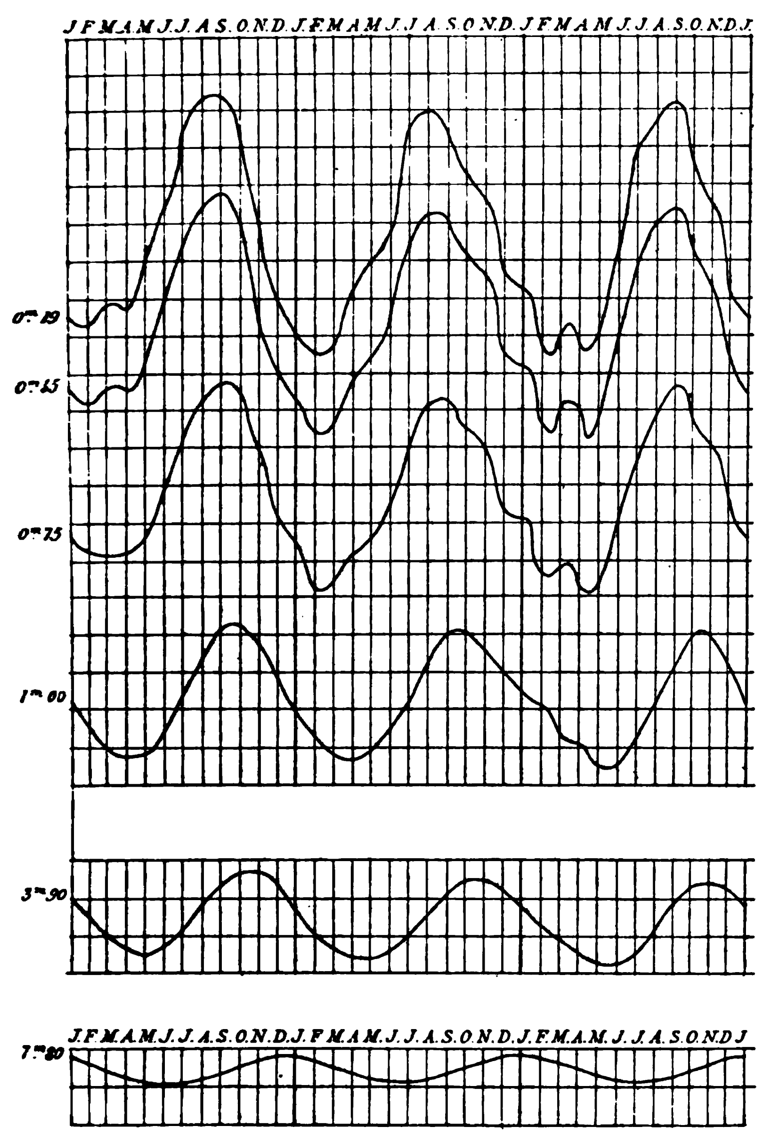


Fig. 112. — Variations annuelles de la température pour des thermomètres placés aux profondeurs de 19 centimètres, 45 centimètres, 75 centimètres, 1 mètre, 3m,90 et 7m,80. Courbes de 3 années successives.

ture au-dessous de la surface de la terre peut s'exprimer en disant que lorsqu'on descend selon une progression arithmétique, les

amplitudes des variations du thermomètre, pendant le cours d'une année, décroissent selon une progression géométrique :

Température à la surface	16°,61
0^m,19	13 30
0 45	12 44
0 75	11 38
1 00	10 67
3 90	4 54
7 80	1 45

La loi des variations de température que subit une même couche de terre, pendant la durée d'une année, est donnée par le tableau suivant, assez clair par lui-même pour nous dispenser de toute explication.

MOIS.	THERMOMÈTRE placé à la surface du sol.	THERMOMÈTRE placé à la profondeur de 0^m, 19.	THERMOMÈTRE placé à la profondeur de 1^m, 00.	THERMOMÈTRE placé à la profondeur de 3^m, 90.	THERMOMÈTRE placé à la profondeur de 7^m, 80.
Janvier	2°, 40	3°, 24	6°, 01	11°, 73	12°, 41
Février	3 06	3 25	5 77	10 70	12 13
Mars	4 81	4 55	6 39	9 97	11 79
Avril	6 94	6 11	7 13	9 68	11 44
Mai	12 00	10 25	9 99	9 91	11 17
Juin	15 87	13 84	13 18	10 75	11 02
Juillet	16 94	14 95	14 90	11 86	11 12
Août	16 71	15 12	15 73	13 00	11 41
Septembre	14 15	13 22	15 08	13 81	11 78
Octobre	9 96	10 21	13 27	14 06	12 11
Novembre	5 69	6 48	10 06	13 68	12 40
Décembre	3 37	4 66	8 40	12 76	12 47
L'année	9°, 33	8°, 82	10°, 49	11°, 82	11°, 77

A la profondeur de 25 mètres, les variations diurnes et annuelles de la température peuvent être considérées comme entièrement éteintes ; c'est donc à cette limite que se présente la *couche invariable* des températures.

Il existe à l'Observatoire de Bruxelles un puits de 60 pieds de profondeur environ, dont les eaux ne varient guère que d'un dixième de degré dans le cours d'une année ; la température moyenne dépasse un peu 11 degrés centigrades et se trouve ainsi supérieure de 6 à 7 dixièmes de degré à la température moyenne de l'air. Cet accroissement de température répondrait à 1 degré environ, pour une profondeur de 36 mètres, et différerait peu de celui qu'on a généralement observé ailleurs.

Parmi les résultats obtenus à l'Observatoire de Bruxelles, l'un des plus intéressants est la mesure du temps employé par la température *diurne* pour se transmettre à différentes profondeurs :

Le thermomètre dont	la boule est	à la surface du sol a son maximum à	midi 45
—	—	à moitié enterrée	midi 55
—	—	au-dessous de la surface du sol.	1^h
—	—	à 0^m,2 de profondeur	6 soir.
—	—	à 0^m,4 de profondeur	1 10 mat.
—	—	à 0^m,6 de profondeur	5 48 —

Le maximum de température s'est donc présenté, vers la surface du sol, un peu avant 1 heure ; à 2 décimètres de profondeur, il y a un retard de $5^h,1/4$; à 4 décimètres de profondeur, le retard est de $12^h,25$, et à 6 décimètres, de 17 heures environ.

Ce qui donne, terme moyen, $2^h,40^m$ pour la durée de la transmission du maximum de température, à travers une couche de 1 décimètre d'épaisseur ; la couche où les maxima de température arriveraient aux mêmes instants qu'à la surface du sol, se trouverait à la profondeur de 8 décimètres et demi.

Bravais et Martins, par les observations qu'ils ont faites sur le Faulhorn, en 1841, ont trouvé un résultat semblable à la hauteur de 2683 mètres au-dessus du niveau de la mer. « Nos observations sur la température du sol, dit Bravais, m'ont prouvé que les maxima et minima de chaleur diurne emploient environ 2 heures 54 minutes pour traverser une couche de terrain épaisse d'un décimètre. La concordance de ce résultat avec ceux obtenus par M. Quételet, à l'Observatoire de Bruxelles, est remarquable. »

A ces recherches, ajoutons celles que M. Becquerel fait depuis plusieurs années au Jardin des Plantes sur la distribution de la chaleur et ses variations dans le terrain parisien.

Arago a admis que la température des caves de l'Observatoire, situées à 28 mètres au-dessous du sol, et qui est de 11°,7, n'ayant éprouve aucun changement depuis trois quarts de siècle, représente celle de la couche invariable ; tel a été son point de départ dans les déterminations de température qu'il a faites dans les puits artésiens.

Le thermomètre électrique permet d'étudier avec précision la distribution de la chaleur au-dessous du sol, les anomalies qu'elle éprouve et la possibilité de reconnaître avec exactitude la position de la couche invariable.

Un puits foré a été creusé à cet effet au Jardin des Plantes en 1863, dans lequel on a descendu un câble thermométrique composé lui-même de plusieurs autres, et renfermé dans un mât de bois évidé à l'intérieur et goudronné. Les câbles partiels ont permis d'observer sans interruption depuis le sol jusqu'à 36 mètres au-dessous. Le puits a été rempli en partie de béton pour éviter le contact du mât et par suite du câble avec les eaux provenant des infiltrations. La température est donnée avec exactitude et ne peut être en erreur que de 1 dixième de degré au maximum.

La température moyenne constatée a été de :

10°, 64	à	1	mètre.	12° 05	à	21	mètres.
11 76	à	6	—	12 27	à	26	—
11 76	à	11	—	12 30	à	31	—
11 78	à	16	—	12 42	à	36	—

Parmi ces huit stations espacées de 5 en 5 mètres, il y en a trois, celles de 21, de 31 et de 36 mètres, dont les températures n'éprouvent pas de variations dans le cours de l'année; elles se comportent donc sous ce rapport comme la couche invariable, située dans nos climats vers la profondeur de 25 mètres. Ces stations se trouvent, la première dans le calcaire, et les deux autres dans une argile sableuse.

Quant aux autres stations, situées à 1 mètre, 6 mètres et 26 mètres, les températures sont soumises aux variations suivantes :

1° A 1 mètre au-dessous du sol, la température moyenne va en augmentant de l'hiver à l'été comme dans l'air; la différence entre le maximum et le minimum est de 6°,92, tandis qu'elle est de 18°,17 dans l'air.

2° A 6 mètres, les variations suivent une marche inverse, le maximum ayant lieu en hiver; la différence est d'environ 1 degré.

3° A 11 mètres, la variation, qui n'est que de 0°,3, indique encore que le maximum est en hiver et le minimum entre le printemps et l'été.

4° A 16 mètres, la marche de la température est comme dans l'air; l'amplitude de la variation est de 0°,25.

Enfin à 26 mètres, la marche est encore la même : la variation est de 0°,53.

Or, de 21 à 36 mètres, la température croissant de 0°,12, et à chacune de ces stations ayant été constante pendant les années 1864, 1865 et 1866, on croit pouvoir en conclure que l'accroissement de température est de 1 degré par 40 mètres environ. Si l'on commence à supputer l'accroissement à partir de 21 mètres, où se trouve la première couche constante, on trouve le même résultat.

Depuis 6 mètres jusqu'à 11 mètres, les températures ne varient pas comme dans l'air; les maxima et les minima sont en sens inverse; tandis qu'à 16 et à 26 mètres, elles suivent les mêmes périodes que dans l'air.

Cet état de choses prouve que dans certaines localités, au-dessous du sol, des couches sont en relation avec l'air, dont elles partagent les vicissitudes, quoique à un degré beaucoup moindre. Cette relation dépend des infiltrations d'eaux pluviales soumises à une marche régulière, lesquelles apportent une perturbation dans la distribution de la chaleur.

En effet, les eaux météoriques qui tombent sur le sol pénètrent à l'intérieur de la terre, dans laquelle elles s'infiltrent en obéissant à l'action de la pesanteur: elles s'accumulent sur les couches imperméables, où elles forment des nappes d'eau souterraines. Pour le puits foré du Jardin des Plantes, la carte hydrologique montre qu'à la profondeur de 16 mètres on pénètre déjà dans la nappe d'eau qui alimente les puits ordinaires au Jardin des Plantes. Cette nappe s'écoule sans cesse vers la Seine et reçoit directement les eaux atmosphériques, en sorte qu'elle doit participer à leurs variations de température. A la profondeur de 26 mètres, on atteint une deuxième nappe qui prend naissance sur l'argile plastique. On conçoit donc que les variations de température puissent atteindre 0°,53 à cette profondeur de 26 mètres. Les nappes souterraines qui sont alimentées directement par des eaux venues de la surface doivent nécessairement reproduire, en les atté-

nuant, les variations de température de ces dernières. Les variations seront d'autant plus sensibles que les nappes d'eau se trouvent à une moindre profondeur et que leur écoulement sera plus facile et plus rapide.

Telle est la marche de la température à l'intérieur du sol. Les insectes, les vers, les racines des arbres la connaissent, et elle a une part particulière dans l'œuvre générale des saisons à la surface du globe.

A propos de la température du sol et de la température moyenne d'un lieu, on s'occupe souvent du thermomètre type des caves de l'Observatoire de Paris, qui est depuis longtemps l'une des bases fixes de la graduation des thermomètres. Voyons en quelques mots son histoire.

La température des souterrains situés dans la couche invariable dont nous venons de parler donne la température moyenne de l'atmosphère extérieure prise à la surface, corrigée du léger accroissement dû à la profondeur. De tels souterrains existent sous le bâtiment de l'Observatoire de Paris. Ils sont à 28 mètres (86 pieds) de profondeur et, de plus, singulièrement abrités des influences extérieures par le monument massif qui les domine. Depuis juste deux siècles, on y suit l'état du thermomètre. Cet état reste à 11°,7.

C'est le 24 septembre 1671 que, pour la première fois, on déposa dans les souterrains de l'Observatoire un thermomètre qui y resta en expérience pendant un certain temps; le lendemain 25, on remarqua avec soin la hauteur qu'il indiquait. Pendant tout le mois d'octobre et de novembre, on descendit plusieurs fois dans les souterrains et l'on trouva toujours la température à la même élévation; ce thermomètre avait été construit par l'abbé Mariotte. Telles sont les plus anciennes observations faites sur la température des caves de l'Observatoire.

La constance de cette température fut aussitôt admise comme un fait avéré. La Hire, dès la fin du dix-septième siècle, prit cette température pour un des points fixes de son thermomètre; il la marqua à 48° de son échelle calorifique.

Dans un mémoire publié en 1730, Réaumur donna, pour la première fois, une détermination de cette température qui puisse être rapportée aux degrés thermométriques comparables.

En 1783, Lavoisier construisit lui-même un nouveau thermomètre, qui fut installé à l'Observatoire par les soins de Cassini IV. Pour empêcher que des courants d'air pussent influencer la température de l'enceinte où désormais devaient se faire les observations thermométriques, Cassini prit le parti de faire boucher en maçonnerie épaisse toutes les avenues aboutissant à l'ancienne table des thermomètres, sauf une qui fut fermée par une bonne porte. Il eut ainsi un vaste cabinet souterrain formant une galerie de 33 mètres de longueur, de 2 mètres de largeur, et de 2m,66 de hauteur, à laquelle communiquent encore trois autres caveaux en cul-de-sac creusés dans la pierre, d'environ 1 mètre carré sur 2m,66 d'élévation, destinés à recevoir des boussoles et plusieurs autres instruments de divers genres.

Le thermomètre de Lavoisier est formé d'un réservoir d'environ 0m,07 de diamètre, surmonté d'une tige presque capillaire de 0m,57 de longueur, parfaitement calibrée; il a été gradué par comparaison avec un thermomètre étalon; chaque degré de la division Réaumur occupe 0m,109 de hauteur, et par conséquent on peut

distinguer et estimer facilement le demi-centième de degré. L'instrument est placé dans un bocal rempli de sable de grès très-fin et tres-sec, qui enveloppe la boule, et même le tube du thermomètre, jusqu'à 0m,22 du terme où se soutient le mercure dans les souterrains. Le séjour de deux observateurs dans le cabinet, pendant

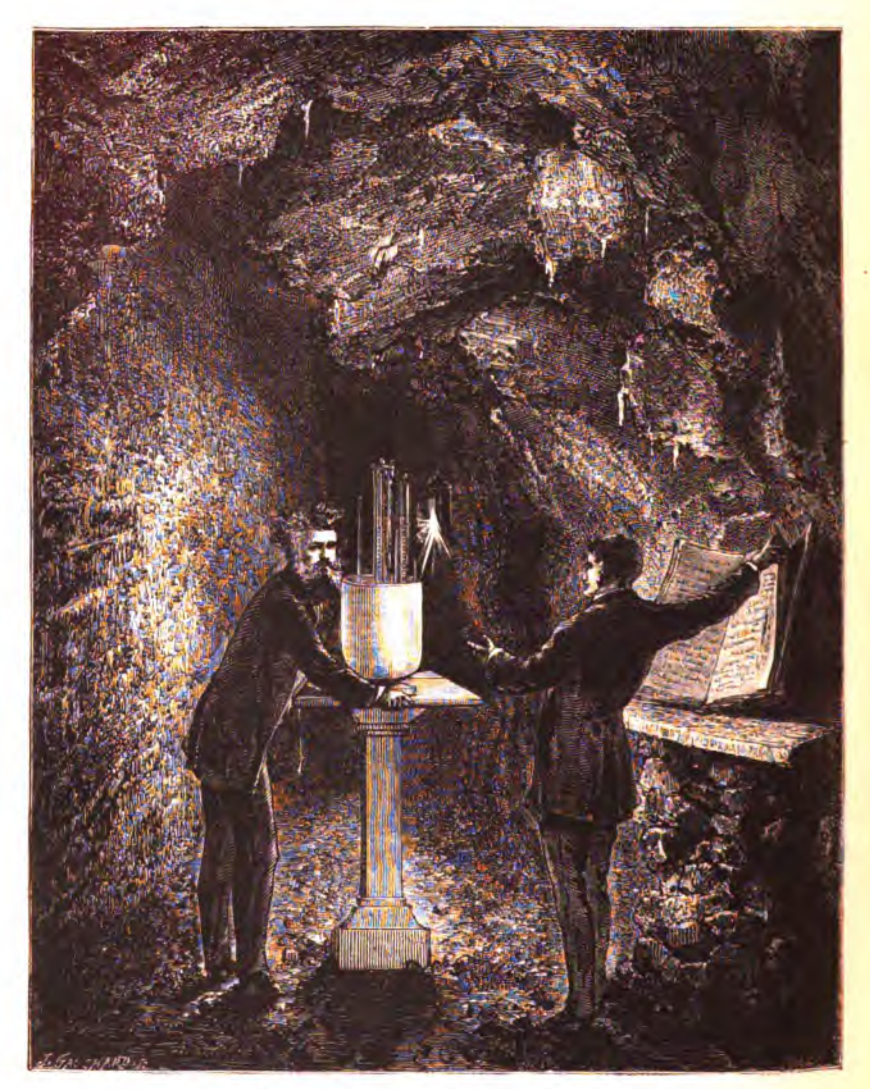


Fig. 113. — Thermomètre des caves de l'Observatoire.

huit à dix minutes, ne cause aucune variation dans la hauteur du mercure. Les divisions thermométriques sont gravées sur une glace placée contre la tige de l'instrument. Ce thermomètre de Lavoisier, qui est le thermomètre étalon des caves de l'Observatoire, a été placé sur un pilier isolé, en face de l'ancienne table des thermomètres.

De 1783 à 1817, ce thermomètre s'est élevé de 11°,417 à 12°,086. Arago se demanda si ce léger accroissement n'était pas dû au thermomètre lui-même. Pour vérifier cette conjecture, il pria Gay-Lussac de faire lui-même un thermomètre. Ce savant physicien se rendit à son désir, et gradua avec le plus grand soin un thermomètre qui fut placé à côté de celui de Lavoisier et avec les mêmes précautions. On constata une erreur de + 0°,380 dans la graduation de l'ancien thermomètre, à cause du déplacement du zéro de son échelle. (A la longue, presque tous les thermomètres deviennent faux. Le zéro, le terme de la glace fondante, monte le long de l'échelle graduée, comme si la boule contenant le mercure se rétrécissait.) La température de 1817 devait être réduite à 11°706 au lieu de 12°,086, et alors la différence avec la température de la surface (10°,7) n'était plus que de 1 degré, excès en rapport avec l'accroissement de la température suivant la profondeur.

Je suis descendu dans ces caves mémorables le 24 septembre 1871, deux siècles, jour pour jour, après la première observation thermométrique qui y ait été faite. Les avenues qui de là conduisaient aux catacombes de Paris ont été fermées; mais le silence sépulcral qui règne en ces profondeurs invite au recueillement aussi bien et mieux peut-être que l'ossuaire vulgaire des squelettes voisins. Le colossal édifice de Louis XIV, qui élève la balustrade de sa terrasse à 28 mètres au-dessus du sol, descend, au-dessous, en des fondations qui ont la même profondeur: 28 mètres. A l'angle de l'une des galeries souterraines, on remarque une statuette de la Vierge, placée là cette même année 1671, et que des vers gravés à ses pieds invoquent sous le nom de « Notre-Dame-de-dessoubs-terre. » De là, on arrive à la galerie des thermomètres, dans laquelle plane le souvenir silencieux des savants qui l'ont parcourue, des Cassini, des Réaumur, des Lavoisier, des Laplace, des Humboldt, des Arago.... Les orages de l'atmosphère et ceux de l'humanité ne pénètrent pas jusqu'à ce sanctuaire, et la Commune de 1871, qui avait osé gravir la terrasse supérieure, a reculé devant l'idée d'aventurer ses pas brutaux sur ces marches sacrées....

En 1871, le thermomètre de Lavoisier marque 11°,73; celui de Gay-Lussac, 11°,7. On voit que c'est précisément 1 degré au-dessus de la température moyenne de Paris.

La température moyenne d'un lieu est celle que l'on obtient en faisant la somme des températures moyennes annuelles, et en divisant par le nombre des années pendant lesquelles ont été faites les observations. Le mode d'opérer n'est applicable qu'à un nombre restreint de stations. Aussi on a dû chercher de bonne heure un moyen d'obtenir, par des expériences effectuées rapidement, des nombres qui pussent suppléer, avec une suffisante approximation, à des déterminations si longues. Nous avons vu que dans nos climats la couche solide qui est à la surface du sol éprouve des variations de température diurne, que plus bas on trouve une couche qui n'éprouve que des variations annuelles, et qu'enfin, à une profondeur suffisamment grande, à environ 25 mètres, on rencontre une couche invariable, qui est très-voisine de la moyenne d'une très-longue série des températures journalières de l'Atmosphère. En cherchant la température de cette couche suffisamment profonde, ou bien, ce qui revient au même, en déterminant

la température constante des sources qui jaillissent dans une contrée ou des puits peu profonds, ou encore des souterrains, on peut donc arri ver à trouver pour la température de chaque lieu un nombre qui diffère très-peu de celui calculé en employant une longue suite de températures annuelles.

Dans les régions équinoxiales, il suffit de descendre un thermomètre à la simple profondeur d'un tiers de mètre dans des lieux abrités, pour qu'il marque constamment le même degré à un ou deux dixièmes près. On creuse à cet effet un trou dans des rez-de-chaussée sous des cabanes d'Indiens, ou sous de simples hangars, dans des lieux où le sol se trouve à l'abri de l'échauffement direct produit par l'absorption de la lumière solaire, du rayonnement nocturne et de l'infiltration des pluies.

En prenant la température des sources pour celle de l'intérieur de la terre, on trouve une concordance très-grande pour la zone comprise entre 30° et 55° de latitude, pourvu que les lieux ne soient pas élevés de plus de 1000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Pour les latitudes supérieures à 55°, la différence entre les températures de l'air et des sources s'accroît d'une manière sensible.

Vers la cime des Alpes suisses, au delà de 1400 et 1500 mètres de hauteur, comme dans les hautes latitudes, les sources de la terre sont de 3° plus chaudes que l'air.

Dans les contrées méridionales les températures des sources et du sol sont inférieures aux températures moyennes de l'air, comme on le voit par les relations de Humboldt et de Léop. de Buch.

Sous nos latitudes, cette température est égale à celle du sol près de la surface, et est un peu supérieure à la moyenne du lieu.

Ainsi l'une des sources de la *Seine*, celle de la Duy, à Châtillon-sur-Seine, a été trouvée à 10°,4par Arago, le 25 octobre 1825, à quatre heures du soir. L'eau, alors fort peu abondante, de la « fontaine des Ducs » marquait 10°,4. Une autre source du même fleuve, celle d'Évergereaux, n'était qu'à 9°,2 ; mais il faut dire qu'elle est à 470 mètres au-dessus du niveau de la mer, tandis que la première n'est qu'à 270. La source de la *Marne*, près de Langres, qui s'échappe du versant oriental d'un coteau calcaire, à 381 mètres au-dessus du niveau de la mer, a été notée à 9°,7 le 18 octobre 1839, dans la matinée, par mon compatriote Walferdin. Sur le versant opposé du même coteau et à peu près au même niveau coule la source de Blanche-Fontaine, dont la température était le même jour, une heure plus tard, de 9°,6. Sur le prolongement du même versant, une source qui coule au bas de la ville de Langres marquait le même jour 9°,5. C'est également la température des puits de Langres qui coulent à la profondeur moyenne de 29 mètres avec un cou-

rant de 1 mètre de l'est à l'ouest. La source de la *Meuse*, dans la même région et non loin de *Montigny-le-Roi*, marquait 10°,9 le 10 octobre 1839, le matin. Il faut remarquer que quoique sa hauteur soit de 379 mètres au-dessus du niveau de la mer, elle ne sort pas d'un coteau, mais de la plaine, et jaillit d'un petit bassin qui a environ 1 mètre d'ouverture sur 0m,50 de profondeur, et pousse un jet continu qui ne tarit jamais. Étant à ciel ouvert, la température de l'air la modifie un peu. Le jour de l'observation, cette température était de 14°,5, et explique l'élévation de celle de cette source sur les précédentes.

Les sources situées soit dans la plaine et les collines basses de l'Alsace, soit dans les vallées des Vosges et de la Forêt-Noire, ne diffèrent dans leur température moyenne que de 0°,8 au plus lorsqu'elles sont à des altitudes très-rapprochées, et à égale altitude la température moyenne des sources de la vallée du Rhin, entre 180 et 260 mètres d'altitude et entre 48 et 49 degrés de latitude, est de 10°,5, valeur qui correspond à une altitude moyenne de 212 mètres.

Il est curieux de suivre pendant un an la température de la Seine à Paris. C'est ce que nous allons faire par la figure suivante :

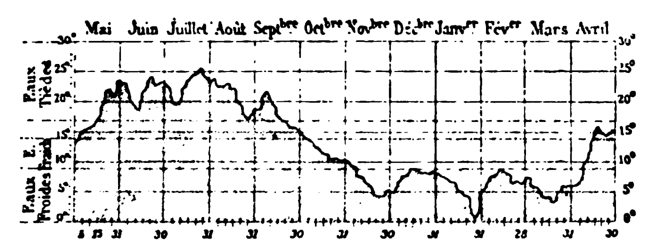


Fig. 114. — Température de la Seine à Paris pendant une année (1er mai 1868 au 30 avril 1869).

En juin et juillet, cette température s'élève chaque année jusqu'à 25 degrés et quelquefois au-delà. En janvier, elle descend assez souvent jusqu'à zéro ; nous verrons plus loin les époques où elle charrie et se gèle même tout à fait.

Il est intéressant maintenant pour nous de compléter cet ensemble d'études sur la météorologie de nos climats par le relevé des *températures moyennes de Paris depuis le commencement du siècle*. Nous leur ajoutons les températures exceptionnelles qui ont été notées à Paris, soit comme minima, soit comme maxima. Ces données sont celles de l'Observatoire.

TEMPÉRATURES MOYENNES NOTÉES A L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Années.	de l'hiver. (déc.-janvier-févr.)	FROIDS EXCEPTIONNELS.	de l'été. (juin-juillet-août)	CHALEURS EXCEPTIONNELLES.	de l'année.
1800.......	» »		» »		10°, 2
1801.......	» »		» »		10 7
1802.......	» »		» »		10 0
1803.......	» »		» »		10 6
1804.......	5°, 0		18°, 6		11°, 1

Années.	TEMPÉRATURES MOYENNES de l'hiver.	FROIDS EXCEPTIONNELS.	de l'été.	CHALEURS EXCEPTIONNELLES.	de l'année.
1805........	2°, 2		17°, 3		9°, 7
1806........	4 8		18 5		11 9
1807........	5 6		19 7		10 8
1808........	2 1		19 1	(15 juill. 36,2)	10 4
1809........	4 9		16 9		10 6
1810........	2 0		17 5		10 6
1811........	4 0		18 1		12 0
1812........	4 1		17 2		9 0
1813........	1 8		16 5		10 2
1814........	0 9		17 4		9 8
1815........	4 3		17 1		10 5
1816........	2 2		15 3		9 4
1817........	5 2		17 1		10 5
1818........	3 5		19 2		11 3
1819........	4 1		18 2		11 1
1820........	1 9	(11 janv.—14,3)	17 4		9 8
1821........	2 5		17 2		11 1
1822........	6 0		19 7		12 1
1823........	1 4	(14 janv.—14,6)	17 1		10 4
1824........	4 4		17 8		11 2
1825........	4 9		18 9	(19 juill. 36,3)	11 7
1826........	3 7		20 2	(1er août 36,2)	11 4
1827........	1 1		18 0		10 8
1828........	6 0		18 0		11 5
1829........	3 1	(24 janv.—17,0)	17 5		9 1
1830........	— 1 6	(17 janv.—17,2)	17 3		10 1
1831........	3 6		18 4		11 7
1832........	3 5		19 2		10 8
1833........	3 7		17 7		10 9
1834........	6 3		20 4		12 3
1835........	4 7		19 2		10 7
1836........	1 9		17 5		10 7
1837........	3 9		19 0		10 0
1838........	0 6	(20 janv.—19,0)	17 5		9 2
1839........	3 2		18 4		10 9
1840........	4 2		18 5		10 3
1841........	0 9		16 7		11 2
1842........	2 9		20 7	(18 août 37,2)	11 0
1843........	4 1		17 8		11 3
1844........	3 3		16 9		10 2
1845........	0 4		17 0		9 7
1846........	5 8	(19 déc.—14,7)	20 6	(5 juill. 36,5)	11 7
1847........	1 7		18 4		10 8
1848........	3 3		18 6		11 4
1849........	5 9		18 4		11 3
1850........	3 8		18 4		10 6
1851........	4 3		18 2		10 5
1852........	4 0		19 3	(16 juill. 35,1)	11 7
1853........	5 3	(30 déc.—14,0)	17 9		10 1
1854........	3 0		17 2		10 9

Années.	Températures moyennes de l'hiver.	Froids exceptionnels.	de l'été.	Chaleurs exceptionnels.	de l'année.
1855.......	2°, 1		15°, 6		9°, 5
1856........	4 1		18 8		10 8
1857........	3 2		19 2	(4 août 36,2)	11 3
1858........	2 4		19 2		10 4
1859........	4 4		19 5		11 4
1860........	3 4		15 6		9 2
1861........	2 2		18 6		10 7
1862........	1 8		16 9		10 7
1863........	5 1		18 7		11 4
1864........	3 1		17 0		9 9
1865........	3 1		18 5		11 4
1866........	4 5		17 9		11 1
1867........	3 8		17 6		10 5
1868........	2 7		19 4	(22 juil. 34)	11 8
1869........	4 6		17 4		10 7
1870........	2 5	(24 déc.—12)	18 5		10 2
1871........	1 8		.. .		.. .
Moyenne générale	3°, 2		18°, 3		10°, 7

Il résulte de cette table, qu'à Paris, depuis le commencement du siècle, l'hiver le plus froid a été celui de 1830, le plus chaud celui de 1834; l'été le plus froid a été celui de 1816, et le plus chaud celui de 1842; l'année la plus froide est celle de 1829, et la plus chaude celle de 1834.

Cette liste a pour but de donner simplement l'état moyen annuel, estival et hibernal de la température, constaté à l'Observatoire de Paris. Nous verrons plus loin qu'il y a eu en France des froids plus rigoureux et des chaleurs plus élevées que les nombres que nous venons d'inscrire, et dont l'observation a été faite sur des points différents.

Nous avons dit que, si l'on prenait les températures moyennes de chaque jour de l'année à Paris, on trouvait une augmentation de chaleur depuis la première semaine de janvier jusqu'au milieu de juillet, et ensuite une diminution constante depuis cette dernière date pour revenir à la première. Le même phénomène général ne laisse pas que d'avoir quelques discontinuités. Les choses ne se passent pas aussi simplement.

Il est bien vrai que, d'une manière générale, c'est le mouvement de la Terre qui amène les grandes phases de la température, et qui produit dans nos climats, par exemple, un minimum en janvier et un maximum en juillet. Mais la courbe qui réunit ces points extrêmes n'est pas une courbe absolument régulière. Il s'y trouve

manifestement des points d'arrêt et de rebroussement qui semblent sujets à des retours périodiques. L'observation incessante et intéressée des populations, surtout des populations de la campagne, avait depuis un temps immémorial consacré quelques-unes de ces variations périodiques par des dictons que la science moderne a eu le grand tort de négliger.

Ce n'est que depuis trente à quarante ans que les recherches de Brandes, Mædler, Erman, bientôt suivies par celles de Dove, Quételet, Buys-Ballot, Fournet, Petit, ont de nouveau appelé l'attention des physiciens sur la régularité que semblaient présenter certaines de ces crises de la température terrestre.

Dans sa forme la plus générale, la question peut se formuler de la manière suivante :

Quel est, pour une localité donnée, l'écart moyen, en plus ou en moins, que présente la température de chacun des jours de l'année par rapport à la marche supposée régulière de ces températures entre les extrêmes annuels?

Cet écart est-il sensiblement le même pour chaque année ou pour un petit groupe d'années? Varie-t-il, au contraire, d'une année à l'autre, ou d'un groupe d'années à l'autre, de manière à présenter une certaine périodicité?

Quant aux questions qui se rattachent secondairement à cette première question générale, elles sont extrêmement nombreuses, puisque les quantités de lumière versées dans l'Atmosphère, l'état électrique de l'air et ses propriétés dites ozonométriques, son état hygrométrique et tous les météores aqueux qui en dépendent, comme aussi les variations dans la pression barométrique, les déplacements de l'air, ou les vents, les tempêtes, en un mot tous les phénomènes atmosphériques sont intimement liés avec la répartition de la chaleur à la surface du globe.

Enfin un appendice bien naturel et bien important se trouve dans l'influence de ces perturbations thermométriques sur la santé des hommes, des animaux et des plantes.

Toutes ces questions sont du domaine de la statistique. Elles seront encore longues à analyser et à résoudre; cependant nous pouvons déjà signaler le fait général suivant mis hors de doute par les comparaisons de M. Ch. Sainte-Claire-Deville.

Quatre moments dans l'année frappent principalement l'attention par l'abaissement de température et la perturbation atmosphérique qui s'y produisent : ce sont les époques qui avoisinent le 12 février, le 12 mai, le 12 août et le 12 novembre.

Le froid périodique du mois de mai est une tradition populaire; les horticulteurs appellent les *trois saints de glace*, saint Mamert, saint Pancrace et saint Servais, dont les anniversaires ont lieu les 11, 12 et 13 mai. Il y a là une coïncidence bien remarquable.

Pour février, mêmes allures générales, seulement d'une manière plus décidée. La chute, après le 7 février, est très-brusque et va directement au 12, qui ne présente qu'un seul minimum au centre même des saints de glace de février.

Comme février représente en nos climats les climats du nord, tout y sera extrême, l'ascension comme la chute : en août, au contraire, qui introduit en quelque sorte ici le climat tropical, tout est ménagé, beaucoup moins brusque; et le petit mouvement sensiblement parallèle à celui du 10 au 14, en mai, ou, si l'on veut, des saints de glace d'août, s'y prolonge jusqu'au 16.

En novembre comme en août, on voit la pente, naturellement décroissante, de la température lutter avec les influences qui tendent à un réchauffement anormal, les points de rebroussement correspondent parfaitement à ceux des trois autres mois, et l'un des derniers donne, le 14, *l'été de la Saint-Martin.*

La considération d'un grand nombre d'années montre à Londres et à Berlin, comme à Paris, qu'il y a une certaine solidarité entre les quatre jours de même date, combinés dans leur température moyenne.

M. Ch. Sainte-Claire-Deville a pu constater que ces curieuses périodes se retrouvent dans les plus anciens documents météorologiques connus, par exemple dans les observations textuelles des élèves de Galilée et de l'Académie del Cimento. Ces observations se répartissent sur quinze années (1655-1670). On retrouve le minimum des saints de glace, qui tombe le 12 avec une netteté étonnante, et l'on saisit des rapports frappants entre les inflexions de la courbe et celle des périodes parisiennes.

Il est certain que depuis deux siècles, et dans la portion de l'Europe que nous habitons, les anomalies périodiques de la température, dont quelques-unes étaient proverbiales chez nos ancêtres, se sont manifestées avec les caractères précisés plus haut.

Le mode de coordination qui rend le plus frappante la solidarité des perturbations périodiques des quatre mois est celui qui rapproche les jours, non d'après les positions équidistantes du soleil en longitude, mais plutôt d'après l'égalité des temps écoulés. Combiner quatre à quatre les jours de même date dans cette période revenait, à très-peu près, à combiner ensemble quatre jours placés sur l'orbite terrestre à des distances *égales en temps*. Cette combinaison montre avec évidence qu'il y a une solidarité d'un certain ordre entre les quatre jours qui sont placés, sur l'orbite terrestre, à des distances égales. — Pour cette constatation, M. Deville a discuté cent soixante jours répartis sur quatre périodes opposées de quarante jours chacune, au centre desquelles se trouvent placées les échéances singulières de février, de mai, d'août et de novembre.

Quelques astronomes, et entre autres Erman et Petit, ont attribué ces phénomènes frigorifiques x masses d'astéroïdes qui s'interposent parfois entre le Soleil et la Terre, et qui suivent dans l'espace, comme nous l'avons vu page 261, des orbites qui peuvent les amener à passer entre le Soleil et la Terre.

L'action du Soleil produit donc dans la température de l'air ces variations selon les heures du jour et selon les mois de l'année, que nous constatons par nos sensations directes, et que le thermomètre note d'une manière plus précise. Cette même action solaire produit une variation diurne et une variation mensuelle

du *baromètre* qu'il importe d'étudier ici, puisqu'elle est une conséquence de la température.

L'Atmosphère s'élève et s'abaisse chaque jour deux fois dans un rhythme dont le Soleil marque lui-même la mesure. Le baromètre, qui donne le poids de la masse aérienne, monte graduellement de quatre heures à dix heures du matin. Cette marée atmosphérique n'est pas due, comme celle de la mer, à l'attraction de la Lune et du Soleil, puisqu'elle arrive tous les jours à la même heure et ne suit pas le cours de la Lune. Elle est due à la dilatation produite par la chaleur solaire et à l'augmentation de la vapeur d'eau produite également par cette même chaleur.

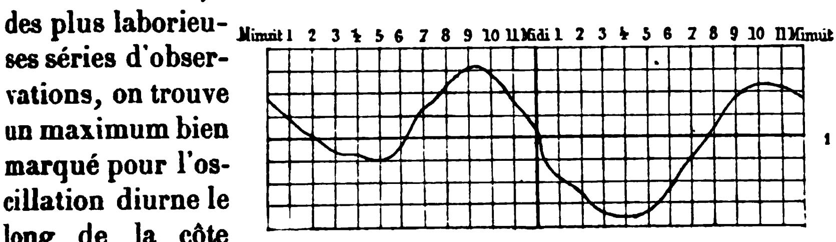
Cette variation barométrique n'est pas énorme, car elle n'atteint jamais 3 millimètres seulement.

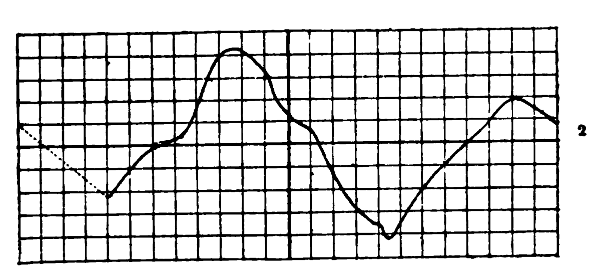
C'est vers l'année 1722 que les *variations diurnes* du baromètre furent constatées d'une manière certaine par les observations d'un Hollandais dont le nom reste inconnu. Depuis cette époque, plusieurs observateurs ont essayé d'en déterminer l'étendue et les périodes pour différents lieux de la terre. A. de Humboldt a démontré, par de longues séries d'observations très-précises, que, sous l'Équateur, le maximum de hauteur correspond à neuf heures du matin ; passé neuf heures, le baromètre descend jusqu'à quatre heures ou même trois heures et demie de l'après-midi, où il atteint son minimum; ensuite il remonte jusqu'à onze heures du soir, où il arrive à un second maximum, et il redescend enfin jusqu'à quatre heures du matin. Ainsi, chaque jour il passe par les deux minimums de quatre heures du matin et de quatre heures du soir, et par les deux maximums de neuf heures du matin et de onze heures du soir. Les mouvements sont si réguliers qu'on peut, à la simple inspection du baromètre, déterminer l'heure, surtout pendant le jour, sans avoir à craindre, en moyenne, une erreur de quinze à dix-sept minutes; elle est si permanente, que ni la tempête, ni l'orage, ni la pluie, ni les tremblements de terre ne peuvent la troubler; elle persiste dans les chaudes régions du littoral du Nouveau-Monde, comme sur les plateaux élevés de plus de 4000 mètres, où la température moyenne descend à 7°.

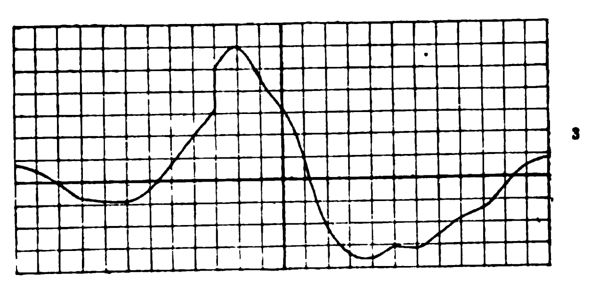
L'amplitude des oscillations diminue à mesure que la latitude augmente, dans les mêmes limites que la température moyenne d'un lieu est, en général, d'autant plus élevée que ce lieu est plus voisin de l'équateur.

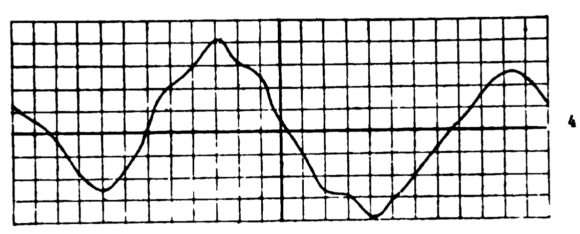
Aux Antilles, où M. Ch. Sainte-Claire-Deville a recueilli l'une des plus laborieuses séries d'observations, on trouve un maximum bien marqué pour l'oscillation diurne le long de la côte nord de l'Amérique qui regarde la mer des Antilles. Les stations de ce littoral donnent, en moyenne, une amplitude de $2^{mm},70$, tandis que cette amplitude est moindre pour toutes les autres stations, qu'elles soient situées au nord ou au sud de la région littorale dont il s'agit.

Or, les côtes septentrionales du Vénézuéla et de la Nouvelle-Grenade sont précisément celles que suit l'équateur thermal, qui s'élève dans ces parages jusqu'au douzième degré de latitude boréale, pour s'infléchir de nouveau vers l'équateur, des deux côtés du continent. Le lieu des oscillations maxima du baromètre est donc le même que celui des températures maxima, et les deux phéno-









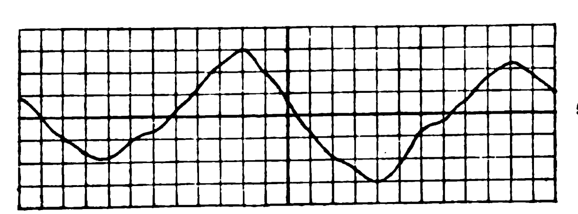


Fig. 115. — Oscillation diurne régulière du baromètre.
1. Ile de l'Ascension. — 2. Port d'Espagne. — 3. Acapulco. — 4. Cumana. 5. Basse-Terre. (Échelle de 1 mill. pour 1 dixième de millim).

mènes suivent une marche semblable dans la zone intertropicale américaine. Cela est, au reste, parfaitement en rapport avec les causes qui influent sur la répartition des températures aux diverses heures de la journée.

On a reconnu dans les diverses observations faites que l'amplitude de l'oscillation totale diminue à mesure que croît l'altitude. On peut dire d'une manière générale que cette amplitude est une fonction de la température moyenne du lieu, et qu'elle décroît avec elle aussi bien suivant les deux coordonnées de la latitude et de la longitude que suivant la coordonnée verticale de l'altitude.

« Soit que, dans une même localité, dit M. Deville, on recherche les instants des pressions extrêmes diurnes (auxquels on a donné le nom d'heures tropiques) ou les extrêmes annuels de l'amplitude, soit que l'on compare, sous ce double rapport, deux localités qui diffèrent entre elles par leurs coordonnées géographiques, en se plaçant, en un mot, au point de vue du temps comme à celui de l'espace, on trouve que les divers éléments de l'oscillation totale subissent l'influence constante de la chaleur solaire. »

Voici dans quelles proportions l'oscillation diurne du baromètre varie avec la latitude :

Lieux.	Latitude.	Hauteur moyenne.	Oscillation diurne.
Lima	12° 3′ S.	741,72	2mm,71
Caracas	10 31 N.	681,93	2 17
Payta	5 6 S.	757,96	2 08
Santa-Fé de Bogota	4 36 N.	759,90	2 01
Ibagué	4 28	658,70	1 92
Calcutta	22 35	758,86	1 84
Cumana	10 28	756,15	1 78
Rio de Janeiro	22 54 S.	764,95	1 70
Mexico	19 26 N.	583,13	1 59
Le Caire	30 2	757,28	1 54
Rome	41 54	761,24	1 00
Bâle	47 34	738,79	0 85
Bruxelles	50 50	757,06	0 80
Paris	48 50	755,82	0 72
Francfort	50 8	752,47	0 55
Dresde	51 7	744,42	0 47
Berlin	52 33	758,63	0 34
Cracovie	50 4	742,38	0 30
Édimbourg	55 55	746,90	0 21
Kœnigsberg	54 42	760,88	0 19
Pétersbourg	59 56	759,31	0 13

La dernière colonne de ce petit tableau montre qu'en arrivant

au 60° degré de latitude, l'oscillation barométrique diurne devient presque nulle.

Dans nos climats, ces variations horaires sont tellement dissimulées par les variations accidentelles, qu'il fallait, pour les découvrir et pour les mesurer, toute la sagacité et toute la précision d'un observateur infatigable. Ce n'est que par les moyennes de plusieurs années d'observations prises avec exactitude et aux heures convenables que l'on peut trouver les périodes horaires. C'est à quoi s'est astreint Ramond. Il a reconnu que leurs époques varient avec les saisons. En hiver, le maximum est à 9 heures du matin, le minimum à 3 heures de l'après-midi, et le second maximum à 9 heures du soir. En été, le maximum a lieu avant 8 heures du matin, le minimum à 4 heures de l'après-midi, et le second maximum à 11 heures du soir.

Voici la variation atmosphérique diurne et mensuelle due à la dilatation de l'air par la chaleur solaire, représentée par les moyennes barométriques de l'Observatoire de Paris :

MOIS.	HAUTEURS MOYENNES DU BAROMÈTRE RÉDUIT à la température de 0°.			
	A 9 heures du matin.	A midi.	A 3 heures du soir.	A 9 heures du soir.
	mill.	mill.	mill.	mill.
Janvier	757, 22	757, 16	756, 52	756, 88
Février	756 86	756 43	756 06	756 45
Mars	756 22	755 97	755 38	755 92
Avril	754 49	754 09	753 80	754 20
Mai	755 31	755 05	754 54	755 02
Juin	756 57	756 31	755 85	756 21
Juillet	756 55	756 20	756 01	756 30
Août	756 41	756 05	755 60	756 07
Septembre	756 22	755 93	755 41	755 93
Octobre	755 74	755 51	755 00	755 50
Novembre	755 33	755 05	754 65	755 07
Décembre	757 31	756 81	756 78	757 19
Moyennes de l'année.	756 186	755 880	755 466	755 895

Ce tableau montre le maximum du matin comme atteignant en moyenne (756,186 — 755,466 =) $0^{mm},72$ d'amplitude au-dessus du minimum de l'après-midi. Il montre de plus qu'il n'y a pas seulement une variation *diurne* du baromètre, mais encore une variation *mensuelle*. C'est là un fait analogue au premier, mais accompli sur une plus grande échelle. Le mercure s'abaisse graduellement de janvier à avril, monte un peu jusqu'en juillet, re-

descend un peu jusqu'en novembre et remonte en décembre et janvier. Cette marche du baromètre presque en raison inverse du thermomètre se manifeste bien plus clairement dans les régions tropicales, comme on le voit facilement par les courbes que M. Sainte-Claire-Deville a tracées aux Antilles. L'amplitude de l'oscillation mensuelle est en moyenne de (757,16 — 754,09 =) 3^{mm},07, entre janvier et avril, pour les observations de midi. Plus on approche des tropiques et plus elle est considérable; à Calcutta, mes collègues de l'Institut de cette ville m'envoient le nombre de 17 millimètres comme représentant l'amplitude entre janvier et juillet, courbes d'une série de dix années; à Bénarès, elle est de 15 millimètres.

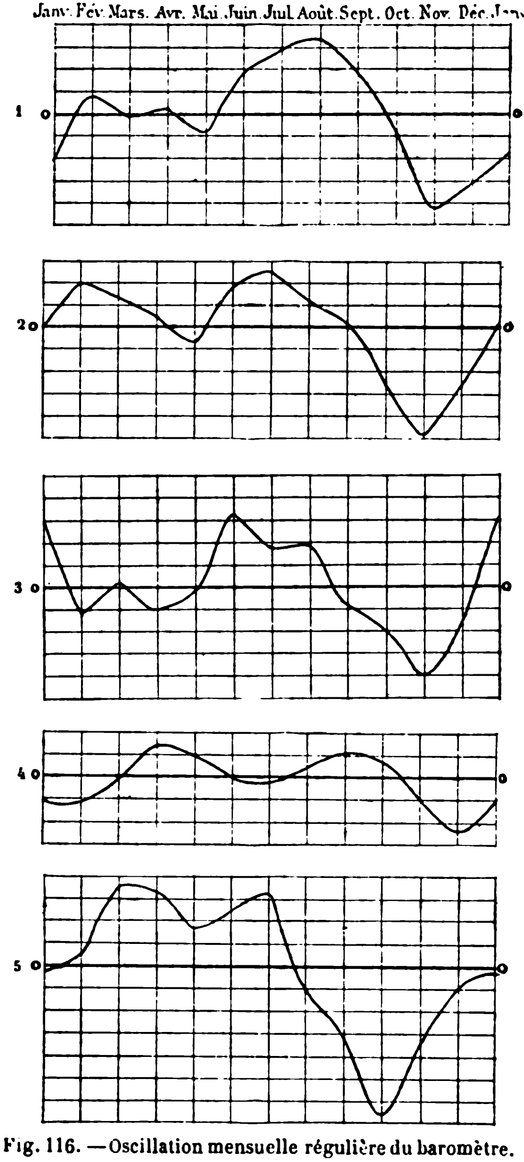


Fig. 116. — Oscillation mensuelle régulière du baromètre.

1. Cayenne. — 2 Guyane anglaise. — 3. La Trinitad. — 4. Santa-Fé de Bogota. — Guadeloupe. (Échelle de 1 mill. pour 1 dixième de mill).

La série des observations de l'Observatoire de Bruxelles, que m'envoie M. Quételet, et qui est la plus longue et la meilleure que l'on ait faite jusqu'à ce jour, montre, par son résultat de trente années, que dans nos climats les variations diurnes et mensuelles s'accusent très-nettement. En les comparant, on voit que les maxima diurnes de température se maintiennent assez bien pendant tout le cours

de l'année, vers 10 heures du matin comme vers 10 heures du soir. Quant aux minima, leur distance est plus grande en été qu'en hiver : ces deux termes s'écartent successivement l'un de l'autre quand on se rapproche des mois d'été. Durant les jours les plus courts (en novembre, décembre et janvier), les minima ne sont séparés que de huit heures : ils arrivent vers 6 heures du matin et 2 heures de l'après-midi; tandis que, pendant les autres mois, ils s'écartent davantage pour se rapprocher ensuite.

Si par les points indiquant les deux maxima et les deux minima de chaque mois de l'année, on suppose quatre courbes, ces courbes seront plus rapprochées de la ligne de midi en janvier et décembre, et elles en seront plus éloignées en juin. Elles présentent à peu près les mêmes inflexions que les deux lignes qui indiquent le commencement et la fin du jour pendant les quatre saisons.

Le premier minimum varie de plus de deux heures; il précède en effet midi, de 8 heures 30 minutes en juin, et seulement de 6 heures 22 minutes en décembre.

Le déplacement du premier maximum est également sensible : ce terme extrême arrive à 10 heures 50 minutes du matin en février, et à 8 heures 40 minutes en juin; toutefois il existe des causes locales qui peuvent influer sur les époques de ces termes extrêmes.

L'époque du second minimum varie dans des limites plus larges encore : il se présente à 2 heures 15 minutes de l'après-midi en janvier, et à 5 heures 30 minutes en juin : cet intervalle est de trois heures un quart.

Les limites entre lesquelles varie l'époque barométrique sont, pour le premier maximum comme pour le premier minimum, de près de deux heures environ. L'espace de temps qui s'écoule entre le premier maximum et le second minimum mérite une attention particulière : ces deux termes limites ne sont séparés que de 4 heures en janvier, et leur séparation est de 8 heures 50 minutes en juin : ce dernier intervalle est plus que double du premier.

La formule montre que la variation diurne totale se compose de la combinaison de *deux ondes :* l'une, à peu près nulle, qui, dans l'espace de 24 heures, a un maximum et un minimum de $0^{mm},03$ seulement, et l'autre, très-sensible, ayant deux maxima et deux minima de $0^{mm},25$.

Telles sont les variations régulières du baromètre, dues à l'action diurne et annuelle de la chaleur solaire. Ce sont les moindres. L'Atmosphère est sans cesse en mouvement sous l'influence

de forces qui acquièrent une plus grande intensité, quoiqu'elles aient la même origine. Les variations irrégulières s'exercent dans une amplitude beaucoup plus considérable. Cette amplitude augmente en allant de l'équateur aux pôles. Tandis que les différences extrêmes du baromètre ne dépassent pas en moyenne quelques millimètres dans les régions équatoriales (exception faite des cyclones dont il sera question plus loin), elles atteignent 50 et 60 millimètres dans nos latitudes.

C'est en hiver que se présentent les plus fortes variations barométriques, et c'est en été que ces variations sont les plus faibles.

A toutes les époques de l'année, du reste, le baromètre accuse une hauteur plus grande pendant les minima de température que pendant les maxima.

C'est surtout pendant les mois d'automne et d'hiver que les différences de température font le plus sentir leur influence sur la hauteur du mercure. Au printemps, cette influence est moins sensible et se trouve en grande partie masquée par des causes plus actives.

L'Atmosphère n'est pas mise tout entière en mouvement par ces variations de température inférieures. Causées par la durée plus ou moins longue des saisons et par les différences des températures et l'inégale longueur des jours, ces variations produisent, il est vrai, des agitations atmosphériques beaucoup plus élevées en été qu'en hiver; mais elles ne s'élèvent guère dans la première saison à plus de six à huit lieues, et dans la seconde à la moitié de cette hauteur. La partie la plus élevée est relativement dans un état immobile. Les *marées* atmosphériques au contraire, dues à l'attraction du Soleil et de la Lune, et qui sont à peine sensibles dans nos bas-fonds, doivent être plus marquées dans les grandes hauteurs que les oscillations dues à la chaleur.

Nous verrons plus loin les variations barométriques dues aux vents, aux tempêtes, aux orages, et caractérisant les changements de temps.

Arrivons maintenant aux saisons considérées en elles-mêmes. Et d'abord, salut à l'œuvre du Soleil, au Printemps et à l'Été.

CHAPITRE V.

LE PRINTEMPS. — L'ÉTÉ.

LA VIE VÉGÉTALE ET ANIMALE. — DEGRÉS DE CHALEUR NÉCESSAIRES AUX DIVERSES PLANTES. — LES CÉRÉALES : LE BLÉ : LA MOISSON. LA VIGNE : LA VENDANGE.

LES ÉTÉS MÉMORABLES. — LES PLUS HAUTES TEMPÉRATURES OBSERVÉES.

Nous venons d'apprécier le mécanisme des saisons et les variations mensuelles de la température causées par le transport oblique de notre planète autour du foyer solaire. Les chiffres que nous avons constatés nous ont donné la mesure exacte de l'action calorifique du Soleil sur la surface terrestre que nous habitons. Mais ce n'est là qu'une cause, et ce sont les effets qu'elle produit qui nous intéressent le plus. Si la Terre était un globe de marbre ou de pierre, il nous importerait peu de mesurer la variation thermométrique qu'elle pourrait éprouver dans le cours de l'année. Elle est enveloppée d'un fluide aérien sans cesse agité par la force calorifique qui descend du grand astre, d'un océan liquide dont la surface se soulève en vapeurs plus ou moins condensées à travers l'Atmosphère, d'un tapis de plantes qui constituent à la fois l'aliment du règne animal et la parure de la planète; et ces plantes qui tantôt forment d'immenses prairies aux opulents pâturages, tantôt développent dans les plaines ces sillons d'or du pain quotidien, tantôt brunissent les côtes échauffées de la vigne aux lourdes grappes, ces plantes sont pour nous le grand thermomètre de l'action vitale de l'astre générateur : ce sont elles qui nous manifestent la véritable marche intéressante des saisons sur notre pla-

nète, ce sont elles qui doivent maintenant nous occuper, car c'est au développement de la *vie* qu'est destiné tout ce mécanisme astronomique et météorologique que nous venons d'étudier.

Reportons-nous d'abord au sépulcre de l'hiver, et davantage nous saurons apprécier la splendeur de la résurrection. Nivôse, Pluviôse, Ventôse ont voilé le ciel de leur manteau sombre; étendu sur la terre le suaire glacé des neiges et des frimas. La mort, l'immobilité règnent sur ces tristes jours de février, sans soleil et sans lumière; un ciel de plomb pèse sur nos têtes, la nature est muette, les squelettes des arbres restent silencieusement immobiles sur la plaine blanche, et le ruisseau qui gazouillait à leurs pieds s'est arrêté, glacé sous le souffle léthargique.... Mais voici le printemps! le radieux, le souriant sylphe avant-coureur de l'été! Germinal, Floréal, Prairial apparaissent avec leurs ailes palpitantes, tissées de rayons solaires, et jettent dans l'air au divin Soleil les notes cadencées de leur carillon. Les voiles de l'Atmosphère se déchirent et s'évanouissent, le vent glacé d'hiver fait place au zéphyr et à la brise, le ruisseau reprend sa marche suspendue, la neige fond, et la verdoyante prairie se déploie de nouveau sous les caresses du printemps! C'est le mois des roses et des parfums, des fauvettes et des chansons. La nature rajeunie se réveille d'un sommeil léthargique; les germes des plantes sentent leur cœur éclater, leur séve monter en tige vers la lumière, les feuilles naître, les bourgeons éclore; et les fleurs sécrètent des sources de parfums, que le souffle des beaux soirs emportera sous les cieux.



La chaleur, cet agent subtil et mystérieux qui se fait sentir dans la matière la plus dense comme dans la plus légère, mais dont l'action mécanique sur les sens généraux est aussi inexplicable que celle de l'électricité ou que l'émotion que produit en nous un regard ou une parole, la chaleur fait toutes ces merveilles, dont l'homme moissonne le meilleur fruit au soleil de messidor.

Comme image, comme symbole du printemps, de la vie renaissante et multipliée, regardons un instant l'oiseau, ce divin habitant de l'air, dans lequel toute la tendresse de la nature semble s'être incarnée, et qui à bien des titres pourrait souvent servir de modèle à notre grande humanité.

Au fond du bois silencieux, que trouble à peine le gazouillement de la source murmurante, les rayons du soleil de mai pleuvent à travers les branches, et deux petits êtres chantent et causent. Que se disent-ils en leur doux langage? Leurs cœurs palpitent, et si fort, que de loin nous pouvons même en distinguer les battements. Quel être que ce petit oiseau des bois, dont le cœur est aussi gros que le corps, et qui ne vit, dans la pureté du ciel et dans l'atmosphère parfumée, que pour aimer et chanter, que pour s'abandonner sans réserve à l'ardente flamme qui est toute sa vie!



Nos pères voyaient dans l'œuf le symbole du berceau du monde et de la formation de l'univers. En lui, nous voyons encore se refléter pour ainsi dire tout le tableau de la nature. Ce n'est plus maintenant le soleil que nous contemplons, ni ses rayons bruts que nous mesurons numériquement, mais leur métamorphose dans la vie. Cet œuf, inerte en apparence, dur caillou pour nos mains et nos yeux, ce grain est l'espoir de cette jeune mère, hier encore rieuse, légère et insouciante, et aujourd'hui déjà réfléchie, pensive et patiente jusqu'à l'abnégation absolue, qui pendant bien des jours et des nuits se condamne à rester immobile sur cet objet qu'elle couve de sa chaleur et de son inconscient amour! Et voici que la vie se manifeste, *la vie*, sous cette écorce; et des tressaillements dans l'œuf répondent à l'anxiété de la petite couveuse. Et puis, c'est le fils mystérieux de la chaleur qui lui-même va frapper de son bec la prison qui l'enferme, et sortir déjà de sa cage pour l'air lumineux, pour la liberté....



La correspondance qui se révèle entre les fonctions de la vie

organique dans le règne végétal et dans le règne animal et l'accroissement de la chaleur solaire est si absolue, que certaines écoles philosophiques de l'antiquité et des temps modernes n'ont vu dans la vie qu'un effet des forces aveugles de la nature. Les hommes qui ont admis ces idées incomplètes n'avaient pas réfléchi qu'il existe dans l'univers trois mondes essentiellement distincts : le monde de la pensée, le monde des forces, et le monde de la matière. La pensée, l'intelligence, les facultés spirituelles et morales, n'ayant rien de commun avec les forces ni avec la matière, ne peuvent être le produit de choses inférieures à elles en puissance. Les forces, comme la chaleur, la lumière, l'électricité, l'attraction, ne sont pas davantage des propriétés de la matière, car il est facile de démontrer que la matière *est gouvernée* mathématiquement par elles, et sous leur dépendance. Les phénomènes de la nature, tels que ceux qui se manifestent dans le renouvellement annuel d'une partie de la vie terrestre au printemps, par exemple, nous montrent en présence ces trois ordres d'entités : la *pensée* dans l'organisation générale du système; la *force* dans l'exécution des œuvres de la nature, et les *atomes* inertes de la matière dirigés par la pensée et par l'intermédiaire de la force pour conserver sur cette planète la somme d'existences qui lui est confiée, et la développer dans le progrès.

Le plan de la nature se révèle dans les actes instinctifs du petit oiseau des bois aussi bien que dans les mouvements des astres parcourant l'immensité. Et ici nous avons de plus le commencement de la pensée individuelle qui se manifeste dans l'esprit du petit être vivant et pensant. Les oiseaux viennent d'éclore, à la grande surprise peut-être de la jeune couveuse elle-même; mais il faut les nourrir et les élever. A peine nés, les voilà affamés et criards; il faut se mettre en chasse, et apporter soigneusement au nid, morceau par morceau, chaque becquée. Le nid est construit pour éviter le soleil, le grand vent et la pluie. Que de soins! quel incessant travail! Et quand le corps n'a plus faim, c'est de l'esprit qu'il faut s'occuper. Le cœur sera toujours ardent et dévoué; mais l'esprit? L'éducation d'un oiseau



n'est pas une mince affaire. Éviter les méchants — et même les bons (car sur cette planète les apparences sont trompeuses), — se bien cacher de l'oiseau de proie comme du chasseur. Et le plus grand apprentissage de l'aviation : voler « plus lourd que l'air » dans l'air même; surpasser à la fois du premier coup d'aile et l'aéronaute, jouet du vent, et l'astronome qui ne sait s'orienter sans étoiles, et le marin dont la boussole est moins sûre que le vol instinctif de l'oiseau vers le calme.

Existe-t-il dans toute la nature un tableau plus merveilleux et plus instructif que celui du printemps? Quel contraste entre les glaces de l'hiver et le tiède rayonnement du nouveau soleil; entre le cadavre raide et glacé et la souriante résurrection d'une jeunesse toujours nouvelle! C'est surtout dans les montagnes de la Suisse, sur le versant des Alpes, en face des lacs silencieux, que l'œil humain saisit le plus vivement cette profonde transformation due au balancement de l'axe terrestre relativement au soleil.

Pendant la saison glacée, les régions neigeuses sont inaccessibles. Mais aussitôt que le printemps arrive, qu'une haleine du midi fond la pâle couronne des hauts sommets, tout change, tout s'anime sur la montagne; la vie, paralysée pendant sept mois, semble vouloir rattraper le temps perdu. Les herbes poussent avec abondance, les fleurs s'épanouissent avec une prodigalité qui enchante, qui émerveille le promeneur. Le fabuleux Éden n'aurait pu avoir ni de plus fraîches pelouses, ni des bancs plus serrés, des broderies plus élégantes, de plus somptueuses corolles. Les troupeaux, longtemps captifs, sortent des étables et des bergeries. Les pasteurs les conduisent sur les prairies embaumées, où ils trouveront désormais de savoureux festins. Les oiseaux chantent, les fenêtres s'ouvrent, et les paroles de Gœthe, quand Faust décrit « la promenade hors des murs », vous reviennent à la mémoire : « Hors des portes obscures et profondes se pousse une multitude bigarrée. Chacun aujourd'hui se chauffe si volontiers aux rayons du soleil! Ils fêtent la résurrection du Seigneur et sont eux-mêmes ressuscités, échappés aux sombres appartements de leurs maisons basses, aux liens de leurs métiers et de leurs vils trafics, aux toits et aux plafonds qui les écrasent, à leurs rues sales et étouffantes, aux ténèbres mystérieuses de leurs églises; tous ils renaissent à la lumière.... »

La peinture en chromolithographie qui accompagne ce chapitre est destinée à rappeler ici au souvenir de nos lecteurs l'état de nos paysages ordinaires des régions tempérées sous la douce et joyeuse influence du Soleil de printemps. Il serait superflu d'entrer sur ce sujet dans aucune description : chacun a contemplé

l'azur du ciel lumineux, le verdoyant tapis des prés, le clair miroir des fontaines; chacun se souvient des paysages d'été, et des bois au sein desquels il s'est égaré pour demander à la nature le calme et la paix des beaux jours.

Afin de sentir aussi complétement que possible le contraste des saisons sur cette terre et dans notre propre climat, le *même* paysage a été peint pendant l'hiver au cœur des frimas, et placé au chapitre suivant, consacré à l'automne et à l'hiver (voy. p. 401). Dans celui-ci toute la vie, toute la joie, toute la lumière des beaux jours s'est enfuie; les eaux de la rivière sont arrêtées dans la mort, les arbres squelettes sont couverts d'un froid linceul, le silence règne sur cette tombe, et les nuages plombés d'un ciel neigeux étendent leur manteau sombre sur la terre. — Il est intéressant, au double point de vue scientifique et esthétique, de comparer les deux tableaux.

C'est surtout dans le règne végétal que se manifeste l'œuvre de la chaleur solaire : aussi est-ce sur ce grand livre de la nature terrestre que nous pouvons le mieux lire la progression de l'influence du soleil pendant la saison printanière et estivale. Quoique le tube inanimé du thermomètre soit une excellente mesure de constatation, toutefois il est bon de compléter ses indications par l'examen de l'échelle, beaucoup plus vaste, de la végétation. La météorologie n'arrivera à acquérir le titre de science que du jour où, par l'étude longue et patiente des faits, nous pourrons embrasser sous un même regard l'action annuelle du soleil sur notre planète et tous ses effets dans la nature. Notre savant correspondant Ad. Quételet, dont nous avons déjà maintes fois cité les travaux dans cet ouvrage, car il est l'un des premiers promoteurs de la météorologie, est de tous les astronomes le premier qui ait conçu un plan vaste et fécond d'études sous ce point de vue. Il y a plus de trente ans qu'il a indiqué et commencé lui-même à l'Observatoire de Bruxelles une série d'observations des *phénomènes périodiques* qui, dans le règne végétal surtout, enregistrent le plus clairement l'état de la température.

Pendant que la Terre parcourt son orbite annuelle, il se développe à sa surface une série de phénomènes que le retour périodique des saisons ramène régulièrement dans le même ordre. Ces phénomènes, pris individuellement, ont occupé les observateurs de tous les temps ; mais on a généralement négligé de les étudier dans leur ensemble, et de chercher à saisir les lois de dépendance et de corrélation qui existent entre eux. Les phases de l'existence du moindre puceron, du plus chétif insecte, sont liées aux phases de l'existence de la plante qui le nourrit ; cette plante elle-même, dans son développement successif, est en quelque sorte le produit de toutes les modifications antérieures du sol et de l'Atmosphère. Ce serait une étude bien intéressante que celle qui embrasserait

Eug Cicéri pinx^t

Eug Ciceri, Chromolith.

PAYSAGE D'ÉTÉ.

Imp Lemercier & Cie Paris

à la fois tous les phénomènes périodiques, soit *diurnes*, soit *annuels*; elle formerait à elle seule une science aussi étendue qu'instructive.

Linné, qui, le premier, comprit tout le parti que l'on pourrait tirer de la météorologie appliquée au règne végétal, avait indiqué quatre termes d'observations, savoir : la feuillaison, la floraison, la fructification et la défeuillaison. De ces quatre données, la plus importante est la floraison.

C'est surtout par la simultanéité d'observations faites sur un grand nombre de points que ces recherches peuvent prendre un haut degré d'importance. Une seule plante étudiée avec soin nous présenterait déjà les renseignements les plus intéressants. On pourrait tracer à la surface du globe des lignes synchroniques pour sa feuillaison, sa floraison, sa fructification, etc. Le lilas, par exemple, fleurit, dans les environs de Paris, vers le 26 avril; on peut concevoir à la surface de l'Europe une ligne sur laquelle la floraison est avancée ou retardée de dix, de vingt ou de trente jours. Ces lignes alors seront-elles équidistantes? Auront-elles des analogies avec les lignes relatives à la feuillaison, ou à d'autres phases bien prononcées dans le développement de l'individu? On conçoit par exemple que, pendant que le lilas commence à fleurir à Paris, il existe encore une série de lieux vers le nord où cet arbuste pousse seulement ses feuilles: or, la ligne qui passe par ces lieux a-t-elle des rapports avec la ligne isanthésique qui correspond à la même époque? On peut se demander encore si les lieux pour lesquels la feuillaison a lieu le même jour, auront aussi la floraison et la fructification le même jour; on voit déjà, en s'en tenant même aux données les plus simples, combien de rapprochements curieux peuvent être déduits d'un système d'observations simultanées, établi sur une grande échelle. Les phénomènes relatifs au règne animal, ceux particulièrement qui concernent les migrations des oiseaux voyageurs, n'offriraient pas des résultats moins remarquables.

La météorologie, malgré ses travaux persévérants, n'a pu reconnaître jusqu'à présent que l'état moyen des différents éléments scientifiques relatifs à l'Atmospère, et les limites dans lesquelles ces éléments peuvent varier en raison des climats et des saisons. Il faut qu'elle-même continue sa marche parallèlement avec l'étude qu'il s'agit de faire, et que, pour diriger nos jugements sur les résultats observés, elle nous montre, à chaque pas, si les influences atmosphériques sont à l'état normal, ou bien si elles manifestent des anomalies.

Tout être organique, soit animal, soit plante, a essentiellement besoin de l'air atmosphérique, tant pour se développer que pour se conserver la vie; son développement, l'exercice de ses fonctions, de ses habitudes sont arrêtés ou modifiés par les modifications de ce même air atmosphérique. Ainsi l'on observe que des maladies épidémiques ou endémiques règnent en certaines saisons, en certaines années; que la progéniture du lièvre commun ne se développe pas toujours également bien; que plusieurs rongeurs pullulent une année dans une localité, tandis que l'année suivante on en retrouve à peine le nombre normal; le cerf, le chevreuil perdent leur bois à une époque qui n'est pas invariablement la même chaque année. Pour citer encore quelques exemples également faciles à saisir, ne voit-on pas la perdrix grise élever avec des succès variés sa nombreuse famille; l'hirondelle, le martinet, le rossignol arriver dans nos contrées et les quitter à une époque plus ou moins reculée de l'année; la chenille et le hanneton nous effrayer quelquefois par leur nombre dans nos plantations, etc., etc.?

Le degré de connexion qui existe entre l'animal, la plante et l'air atmosphérique doit être observé; des observations consciencieuses et suivies doivent indiquer l'influence que les êtres éprouvent de la part du milieu dans lequel ils vivent.

Dans le règne animal, l'époque de l'accouplement, celle de la naissance, celle de la mue, celle des migrations, celle d'engourdissement et de réveil, celle d'apparition, la rareté ou l'abondance remarquable d'une espèce, sont les points qui doivent être observés et indiqués avec exactitude, conjointement avec les observations météorologiques.

La zoologie et la botanique devraient être les premières interrogées, afin que l'on pût chaque année s'assurer jusqu'à quel point les variations dans la constitution météorologique peuvent avancer ou retarder l'apparition de certains animaux, ou la floraison et la feuillaison des plantes.

Nous avons vu plus haut que dans l'humanité même, l'influence des saisons se manifeste sur les naissances, les mariages, les décès, les maladies, sur tout ce qui se rapporte au physique de l'homme, et jusque sur ses qualités morales et intellectuelles. Les aliénations mentales, les crimes, les suicides, les travaux, les relations commerciales, etc., sont loin d'être numériquement les mêmes aux différentes époques de l'année. C'est là un immense et fertile champ de recherches.

Tous les météorologistes ont compris l'importance de ce programme; aussi les établissements récemment organisés pour l'étude complète des mouvements de l'Atmosphère ont-ils inscrit au nombre des observations permanentes à faire, celle des phénomènes périodiques de la vie végétale et animale. Le nouvel Observatoire météorologique français note ces indications à dater de cette année ; l'époque de la feuillaison et de la floraison des principales plantes cultivées est désormais inscrite d'office à son bulletin hebdomadaire. Cette branche d'observations sera sans contredit l'une des plus utiles dans la connaissance des rapports de l'Atmosphère à la vie terrestre.

Trois époques principales caractérisent dans nos pays l'œuvre des saisons dans la vie pratique; ces trois grands faits de la vie agricole sont : la fenaison, la moisson et la vendange; la fenaison, ou la coupe des prés, la récolte du foin en juin (une seconde a lieu en septembre); la moisson à la fin de juillet; et la vendange en septembre et octobre. Ce sont les fêtes de Flore, Cérès et Bacchus.

La plus importante est sans contredit celle de Cérès. « Sine Cerere et Baccho Venus friget, » disait le bon sens pratique des anciens. Aussi n'est-il pas d'un médiocre intérêt pour nous de pénétrer le mystère de la génération et de la fructification du grain de blé, confié au sein maternel de la Terre, et qui donne à l'été les gerbes longuement attendues par l'agriculteur.

La moisson est l'époque solennelle de l'année dans nos campagnes; c'est sur elle, c'est-à-dire sur un frêle épi, sur une goutte de pluie, sur un rayon de soleil, que repose toute l'espérance de l'agriculteur, que s'équilibre le long et rude travail du cultivateur. Aussi, malgré la chaleur torride, malgré la soif, malgré la fatigue, quel travail s'accomplit avec une plus vive ardeur, avec un entrain plus universel? Dès l'aurore les groupes de moissonneurs attaquent l'armée touffue des grands épis, qui depuis un mois se balançaient comme un champ de moire d'or sous le souffle du vent, et demain on les retrouvera couchés sur le sol où ils grandirent. Le soleil sèche les chaumes, et bientôt on les voit debout de nouveau, mais rassemblés en gerbes puissantes. De ces gerbes, le grain tombera dans l'urne du moulin, et la farine délayée nous donnera le pain de chaque jour, la base de toute alimentation. Et tout ce grand travail, depuis la semence jetée en terre jusqu'au pain de nos tables, tout cela, c'est le Soleil qui l'a produit, car c'est lui qui donne la température nécessaire à la germination, c'est lui qui fabrique le brouillard de l'automne, la neige

de l'hiver, la pluie du printemps, c'est lui qui fait lever la céréale vers la lumière, c'est lui qui emmagasine ses rayons dans l'épi, y fixant l'azote et le sucre, c'est lui qui fait mouvoir le moulin, et c'est encore lui qui chauffe le four du boulanger, car le bois que nous brûlons n'est autre chose que du carbone fixé dans le chêne, le hêtre, le charme, ou la houille elle-même, par le grand et infatigable dieu du jour.

Mais les moissons s'éclipsent encore sous la gaieté des vendanges. Les grandes chaleurs sont passées, et les couchers de soleil sont plus beaux. Le souffle du soir rafraîchit les collines, et les parfums des vallées s'élèvent et remplissent l'espace. Sur la côte où la vendange vient de se faire on aspire à pleins poumons les tièdes effluves d'oxygène qu'emportent les premiers vents d'automne; le soir descend en silence et les bruits crépusculaires des insectes s'élèvent des prés qui bordent le ruisseau de la vallée, tandis que là-bas déjà s'allument les petites lumières de la ville, car nous sommes en octobre. C'est le calme après le travail, la paix profonde et tranquille après l'agitation des grands jours. La personnalité de l'esprit voué aux recherches de la pensée s'apaise dans la contemplation de la nature, ou s'évanouit pour un instant en se mêlant à la somnolence apparente des familles patriarcales.

Tous ces fruits sont dus au Soleil. Analysons un instant son œuvre féconde.

On sait que les semailles se font en automne pour le blé, et généralement à la fin d'octobre, quand la pluie n'a pas empêché le labourage. Le grain confié au sol germe au bout de quelques jours, et dès novembre les sillons sont couverts des tiges verdoyantes du froment. L'hiver arrive, et le grain résiste à des froids de 12, 15 et 20 degrés lorsque le champ est couvert de neige; sans cette couverture, des froids moindres gèlent le collet des racines et les tiges, si bien que lors même qu'on a semé très-dru, les semis sont éclaircis et la récolte est réduite au tiers. Aussi la résistance à un hiver rigoureux est-elle une épreuve décisive lorsqu'il s'agit d'introduire une nouvelle variété de blé dans une contrée.

Pour s'accroître et fructifier au printemps, toute plante réclame une certaine somme de chaleur et d'humidité : elle doit absorber tant de millimètres cubes d'eau, et tant de degrés de calorique. C'est pourquoi, quand on connaît d'un côté le temps écoulé depuis sa naissance jusqu'à sa maturité, de l'autre la température moyenne qui a régné entre ces deux époques, on trouve en comparant la même plante placée dans des climats différents, que le

nombre des jours placés entre le commencement et la fin de la végétation est d'autant plus grand que cette température a été moins élevée; de sorte qu'en multipliant les jours par la température on obtient des nombres à peu près égaux.

Pour le blé, la durée de la culture est de 160 jours à la latitude de Paris, la température moyenne est de 13°,4 pendant cette période, et le produit des jours pour la température est 2144 degrés.

A Turmero (Amérique) la durée est de 92 jours seulement, la température moyenne est de 24 degrés, ce qui donne 2200 degrés. A Zimijaca (Id. — Boussingault) la durée est de 147 jours, et la température moyenne de 14°,7, ce qui donne 2160 degrés. On voit qu'il faut plus de 2000 degrés au froment pour mûrir.

L'orge en demande moins. Les trois séries de chiffres précédents sont pour :

	Jours.	Temp. moy.	Total.
La Bavière..............	100	17°2	1730°
Alsace..................	92	19 1	1757
Alais....................	137	13 1	1794
Bogota (Amérique)........	122	14 7	1793
Cumbal —	168	10 7	1797

C'est donc de 1750 à 1800 degrés qu'il faut à l'orge pour arriver à pleine maturité.

Le maïs ou blé de Turquie est plus exigeant que le froment : il lui faut 2600 à 2900 degrés.

Les pommes de terre en réclament davantage encore : 2800 à 3000. On les plante à 10 ou 12 degrés, et on ne les récoltequ'après les fortes chaleurs de juillet et d'août.

Il faut à la vigne 2900 degrés accumulés, à partir de 10 degrés comme limite inférieure.

Le dattier a besoin d'une chaleur totale de 5000 degrés pour mûrir ses fruits.

Tous les végétaux, alors même qu'ils y peuvent vivre, ne fructifient pas sous un climat constant, et réclament une chaleur supérieure à celle où ils fonctionnent en s'assimilant les principes répandus dans le sol et dans l'Atmosphère. Ce sont réellement les conditions météorologiques indispensables à la reproduction qui caractérisent le climat convenable à une plante. La vigne, par exemple, végète avec vigueur là où le raisin ne mûrit jamais; pour en attendre un vin potable, il faut non-seulement près de 3000 degrés de chaleur, mais encore que la période de formation des

grains soit suivie de trente à quarante jours dont la température ne soit pas inférieure à 19 degrés.

Les récoltes ne doivent pas se faire à égale maturité pour les diverses espèces de culture. Ainsi j'ai remarqué que l'on coupe généralement le blé trop tard et le raisin trop tôt (je parle pour les départements de l'est de la France). Il en résulte qu'une quantité non insignifiante de grains de blé est perdue par égrenage, et que le vin est souvent trop vert. Les épis continuent de mûrir pendant plusieurs jours après la moisson, et l'on ne courrait aucun risque de faire la moisson huit jours avant la maturité (à moins que ce ne soit pour prendre la semence). Le vin se fait le lendemain de la vendange, et l'on ne courrait aucun risque, au contraire, de retarder jusqu'aux approches de la gelée, de la neige ou du mauvais temps. J'ai particulièrement en vue ici le nord de la Bourgogne et le département de la Haute-Marne, dont l'isotherme d'été est de 19 degrés et l'isotherme annuel de 11.

En étudiant la distribution des diverses cultures dans les plaines et sur les versants des montagnes, on ne tarde pas à reconnaître que leurs limites géographiques ne sont pas exclusivement réglées par les moyennes températures annuelles. Ainsi, pour que la vigne produise du vin potable, il ne suffit pas que la chaleur moyenne de l'année dépasse 9° 1/2; il faut encore qu'une température d'hiver supérieure à 0°,5 soit suivie d'une température moyenne de 18° au moins pendant l'été. Dans la vallée de la Garonne, à Bordeaux (lat. 44°,50'), les températures moyennes de l'année, de l'hiver, de l'été et de l'automne sont respectivement : 13°,8; 6°,2; 21°,7; 14°,4. Dans les plaines du littoral de la mer Baltique (lat. 52° 1/2), où le vin n'est plus potable (il y est consommé cependant), ces nombres sont : 8°,6; — 0°,7; 17°,6; 8°,6. Certes il doit exister une opposition bien tranchée entre deux climats dont l'un est éminemment favorable à la culture de la vigne, tandis que l'autre atteint la limite où cette culture cesse d'être productive, et il paraît d'abord surprenant que les indications thermométriques n'accusent pas plus nettement cette différence. Mais on s'étonnera moins si l'on considère qu'un thermomètre placé à l'ombre, abrité complétement ou à peu près contre les effets de l'insolation directe et du rayonnement nocturne, ne saurait indiquer la température du sol librement exposé à toutes ces influences, ni les variations périodiques dont cette température est affectée d'une saison à l'autre.

Ce n'est pas seulement la chaleur qui agit sur les végétaux,



Fig. 121. — La moisson.

c'est encore la *lumière* directement reçue du soleil. « Si la vigne, pour donner un vin potable, dit Humboldt, fuit les îles et presque toutes les côtes, même les côtes occidentales, ce n'est pas seulement à cause de la faible température qui règne en été sur le littoral; la raison de ces phénomènes est ailleurs que dans les indications fournies par nos thermomètres, lorsqu'ils sont suspendus à l'ombre. Il faut la chercher dans l'influence de la lumière directe dont on n'a guère tenu compte jusqu'ici, bien qu'elle se manifeste dans une foule de phénomènes (par exemple, dans l'inflammation d'un mélange d'hydrogène et de chlore). Il existe, à cet égard, une différence capitale entre la lumière diffuse et la lumière directe, entre la lumière qui a traversé un ciel serein et celle qui a été affaiblie et dispersée en tous sens par un ciel nébuleux. » (*Cosmos*, I, p. 338.)

Nous verrons dans quelques instants, au chapitre VII, comment l'influence solaire est distribuée à la surface de la terre; comment les lignes d'égales températures ne suivent pas régulièrement les cercles de latitude; comment, à égale distance de l'équateur, tels pays sont plus privilégiés que d'autres au point de vue des climats et des productions du sol. Nous verrons, au chapitre VIII, la conséquence des climats sur la géographie botanique, et la variation des espèces végétales naturelles, des arbres et des essences, suivant la décroissance de la température, soit qu'on marche de l'équateur aux pôles, soit qu'on s'élève du pied d'une haute montagne jusqu'à son sommet. Quant à présent, puisque nous entrons ici en relation avec les cultures dont l'homme a su faire la base de son alimentation, grâce à la chaleur solaire, voyons sommairement comment cette chaleur a dessiné les espèces cultivées à la surface du globe.

En Europe, la culture des *céréales* ne s'élève guère plus haut que le 70e degré dans la Péninsule scandinave, encore est-ce le seul point du globe où on les retrouve à ce degré; partout ailleurs la culture est loin de s'élever si haut.

Dans l'Asie septentrionale, elles décroissent en allant de l'ouest à l'est; tandis que dans la partie occidentale on les retrouve à 60°, dans la partie orientale elles ne s'élèvent pas plus haut que le 51°.

Dans l'Amérique du Nord, on les cultive dans l'ouest jusqu'au 57e, et sur les côtes orientales à peine plus haut que le 51°.

Il s'en faut néanmoins que ce soient toutes les céréales qui croissent jusqu'à de si hautes latitudes; la seule espèce de graminée alimentaire qui réussisse dans ces climats glacés est l'*orge*, qui sert à la nourriture de l'homme dans toutes les régions septentrionales.

L'*avoine*, qui entre aussi pour une part importante dans l'alimentation humaine, ne réussit pas à de si hautes latitudes; il faut, pour en trouver la culture régu-

lièrement répandue, descendre de quelques degrés plus bas; et dans les localités où cette céréale arrive à maturité, on trouve déjà le *seigle*, qui descend jusqu'aux bords de la Baltique et remplace avantageusement les deux autres, qui n'y sont plus cultivées que pour la nourriture des animaux et la fabrication de la bière.

L'importante culture du *blé*, commune dans le nord de l'Allemagne, où on le cultive concurremment avec le seigle, bientôt finit par devenir la culture dominante. Il part du sud de l'Écosse, traverse la France, l'Allemagne, la Crimée, le Caucase, et s'étend jusque dans l'Asie, sans pour cela qu'on néglige les trois autres

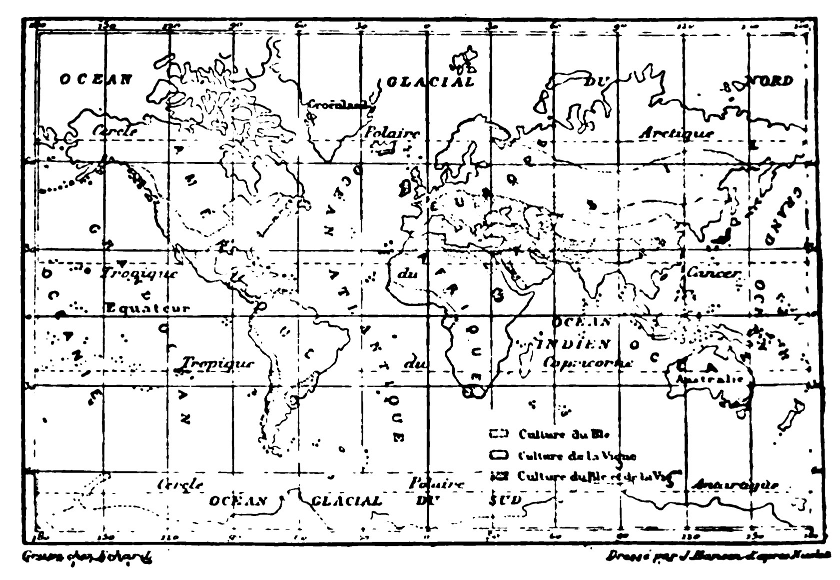


Fig. 122. — Culture du blé et de la vigne, ou le pain et le vin sur le globe.

céréales; mais celles-ci n'y sont plus si fréquemment employées aux besoins de l'homme.

Les Européens ont importé le blé aux États-Unis, au Brésil, à la Plata, au Chili, dans la Nouvelle-Galles du Sud et en Australie. — Comme altitude, le blé se cultive jusqu'à 3300 mètres; le maïs jusqu'à 2400 seulement.

Le *seigle* devient la culture des régions plus froides des montagnes, et en descendant vers le sud, l'*avoine* disparaît entièrement pour faire place à l'*orge*, qui est donnée aux animaux. A mesure que l'on descend vers le midi, le *riz* et le *maïs* remplacent les autres céréales, ainsi que cela se voit dans la France méridionale, en Italie, en Espagne, et ils deviennent d'une culture presque exclusive jusqu'au nord de l'Inde, où ils sont préférés au *blé*, en traversant tous les pays intermédiaires comme une vaste zone. En Afrique, diverses espèces de *sorgho* sont culti-

vées comme céréales d'usage habituel. A l'extrémité orientale de l'Asie, le *riz* remplace toutes les céréales, ce qui a également lieu dans les parties méridionales de l'Amérique du Nord. On y trouve cependant aussi le *maïs*, dont la culture est même plus répandue que chez nous. Dans l'Amérique du Sud, c'est le maïs qui domine.

La *vigne*, qu'on peut mettre au nombre des végétaux les plus utiles à l'homme, comme objet de commerce et d'échange, autant que comme boisson réparatrice, a une distribution assez capricieuse; elle s'étend sur une longue zone d'environ 22 degrés de latitude. Sa limite au nord, en France, touche l'Océan à Vannes, passe entre Nantes et Rennes, entre Angers et Laval, entre Tours et le Mans, remonte par Chartres, pour passer au-dessus de Paris, puis au-dessous de Laon, et au-dessous de Mézières, et atteint le Rhin à l'embouchure de la Moselle.

Les pays au nord de cette ligne sont incapables de produire du vin. Les rayons du Soleil emmagasinés dans le raisin sont apportés sur nos tables dans les délicieux vins de France, et ce sont eux qui donnent au caractère français son ardeur et sa jovialité. En vain le Prussien machinal leur oppose son houblon et sa bière; il ne cessera d'être lourd et barbare, comme nous l'étions jadis nous-mêmes, nous les vieux Francs, quand nous habitions la rive droite du Rhin, avant de faire la conquête des Gaules, que les Germains nous disputent depuis Clovis.

Une dernière remarque sur l'échelle des températures appliquées aux végétaux :

La vie des plantes offre comme extrêmes de température la *Tremella reticula* qui prospère dans l'eau thermale de Dax à 49°, et le Mélèze qui brave en Sibérie un froid de 40°. Les graines mûres sont insensibles au froid. Exposées à 100 degrés au-dessous de zéro, elles ne perdent pas leur faculté germinative. D'où l'on tire la conclusion que si par une cause quelconque la surface de la terre se refroidissait à 100 degrés, la vie animale serait anéantie, tandis que la vie végétale renaîtrait si la température actuelle revenait ensuite elle-même.

Nous avons vu dans le chapitre précédent que chaque mois a sa température moyenne propre; mais si les années se suivent, comme les jours, elles ne se ressemblent pas. L'étude complète des effets de la température est d'une complication extrême. Les années les plus chaudes ne sont pas celles où le maximum de température a été le plus haut un jour donné, ni les années les plus froides ne sont pas celles où le minimum a été le plus bas un jour donné. Si nous prenons les mois, nous trouvons de même certains

mois d'une température maximum ou minimum bien au-dessus ou bien au-dessous de la moyenne, sans que pour cela l'année soit généralement plus chaude ou plus froide. La végétation générale offre les mêmes différences, car chaque espèce végétale a son époque de sensibilité critique; une série de jours très-chauds pourra, par exemple, amener dans les vignes les conditions d'un vin excellent, si ces jours arrivent à un bon moment, et dans tel autre moment de la saison, les mêmes chaleurs n'exerceront point cette utile influence. Ce sont là des faits que tous les hommes qui vivent à la campagne ont vulgairement constatés, mais qui néanmoins sont pour la météorologie un sujet d'études fort complexe.

Maintenant que nous avons une connaissance exacte de la théorie astronomique des saisons et de leur valeur météorologique et vitale, pour ainsi dire, il serait intéressant pour nous de compléter ce chapitre spécial sur l'été par la liste des *étés les plus chauds*, afin d'apprécier jusqu'à quel degré la chaleur peut s'élever en ces saisons exceptionnelles. C'est ce que nous allons faire.

Arago et Barral ont rassemblé sur ce point des documents importants qui nous permettent d'en tracer un résumé instructif. Voici quels sont les étés de ce siècle qui ont été remarqués par leur chaleur extrême en France et en Europe; on peut facilement observer dans cette revue rétrospective les particularités diverses de température dont nous venons de parler.

L'été de la première année de ce siècle, 1800, ou, pour parler exactement selon la chronologie, de la dernière année du dix-huitième siècle, a été remarquable par sa haute température, et nous ouvririons par lui notre série, si, quelques années auparavant, l'Europe n'avait été sous le coup d'une chaleur exceptionnelle à une date qui restera célèbre : 1793.

Cet été est mémorable par des chaleurs extraordinaires et restées sans exemple depuis le siècle passé : elles se sont produites en juillet et en août. On compte pour Paris, d'après Cassini IV, alors directeur de l'Observatoire :

Chaleur forte (de 25° à 31° incl.)	36 jours.
— très-forte (32° à 34° incl.)	9 —
— extraordinaire (35° et au-dessus)	6 —

Les plus hautes températures se sont ainsi distribuées :

Valence, le 11 juillet	40,0
Paris, le 8 —	38,4
— le 18 août	37,3

Chartres, le 8 août	38°0
— le 16 —	38 1
Vérone, en juillet et août	35 6
Londres, le 16 juillet	31 7

A l'Observatoire de Paris, le thermomètre marqua jusqu'à 63 degrés *au soleil* (le 8 juillet).

Les grandes chaleurs commencèrent à se faire sentir à Paris le 1er juillet, et augmentèrent rapidement. Le ciel fut, pendant leur durée, constamment beau, clair et sans nuage; le vent ne quitta pas le nord; le plus souvent il était calme, et le baromètre se tint à une très-grande hauteur. Les jours les plus chauds ont été le 8 et le 16 juillet. Le 9, un orage épouvantable dévasta Senlis et ses environs, Une grêle grosse comme des œufs détruisit les moissons; un vent furieux renversa plus de cent vingt maisons. Une pluie énorme succéda à cette tempête; les eaux, s'amassant dans les campagnes, emportèrent les bestiaux, les meubles, les femmes et les enfants. A Bougueval (Oise), une malheureuse mère, à bout de forces, fut entraînée par le courant après avoir sauvé ses neuf enfants. La Convention nationale accorda aux victimes du sinistre un secours provisoire de 30 000 livres, et elle décréta que 6 millions seraient remis au ministre de l'intérieur pour secourir les possesseurs des propriétés ravagées. Le 10 juillet, pour comble de maux, survint un nouvel orage de grêle.

La chaleur extrême du mois de juillet continua durant une partie du mois d'août. Dans la journée du 7 de ce mois, elle fut singulièrement remarquable : elle se montra générale, pesante, accablante; le ciel était resté très-clair; le vent, au nord-est, devint sensible et d'une ardeur si violente qu'il semblait sortir d'un brasier ou de la bouche d'un four à chaux. On recevait cette chaleur insolite par bouffées, de distance en distance; elle était aussi ardente à l'ombre que si l'on eût été exposé aux rayons d'un soleil dévorant. On ressentait cette pénible sensation dans toutes les rues de Paris, et les effets étaient les mêmes en rase campagne. Cette chaleur étouffante paralysait la respiration, et l'on se sentait beaucoup plus incommodé ce jour-là où la chaleur se tenait à 30°,3 que le 8 juillet où le thermomètre était monté à 38°,4.

La sécheresse fut extrême. Le niveau de la Seine descendit aux basses eaux de 1719 à la fin d'août et au milieu de septembre. Il ne tomba à Paris, dans toute l'année, que 331 millimètres d'eau. Dans la campagne, les marronniers, les pommiers, les noyers, les cerisiers, les noisetiers, le chèvrefeuille, la vigne, les groseilliers eurent leurs feuilles brûlées; les fruits, les pommes entre autres, portaient sensiblement le caractère de la brûlure. La rareté des légumes se fit vivement sentir, et ce qui en restait monta à des prix exorbitants. Les terres desséchées, endurcies, crevassées ne pouvaient plus être remuées par la charrue ni par la bêche. Dans le jardin du Luxembourg, le sol ne présenta pas, à un mètre de profondeur, la moindre apparence de fraîcheur. Des terrassiers, chargés de creuser un puits dans un lieu entièrement exposé au soleil, trouvèrent la terre desséchée à 1m,60 de profondeur. Le 1er septembre, les arbres du Palais-Royal étaient presque tous dépouillés de leurs feuilles; cent cinquante d'entre eux étaient entièrement nus; la sécheresse et la chaleur avaient fait gercer l'écorce, et les branches paraissaient mortes; la plupart moururent.

En Bourgogne, les vendanges commencèrent le 23 septembre. Le vin fut abondant, mais de qualité médiocre. Il était tombé dans cette région des pluies froides qui en avaient altéré la qualité. L'été fut sec et chaud dans le pays toulousain; la récolte du maïs manqua complétement. On se souvient que 1793 fut, en France, une année d'extrême disette.

1800. — L'été fut marqué par des chaleurs très-vives qui s'étendirent sur une

partie de l'Europe. Du 6 juillet au 21 août, le thermomètre ne descendit à Paris que cinq fois au-dessous de 23°,4, et l'on eut, d'après les tableaux de Bouvard:

Chaleur	forte	25 jours.
—	très-forte	5 —
—	extraordinaire	2 —

La chaleur directe du soleil fit monter le thermomètre, selon Cotte, à Montmorency, le 18 août, à 3 heures du soir, à 51°,5. Les températures les plus élevées de cet été se sont ainsi distribuées:

Bordeaux, le 6 août	38°8
Nantes, le 18 août	38 8
Montmorency, le 18 août	37 9
Limoges	37 5
Paris, le 18 août	35 5
Londres, le 2 août	31 1

Des incendies se développèrent dans une proportion énorme depuis le commencement d'avril. Un village entier, dans le département de l'Eure, la forêt d'Hagueneau, une portion de la Forêt-Noire devinrent la proie des flammes. Des myriades de sauterelles s'abattirent sur les cantons voisins de Strasbourg. Dans la nuit du 20 juillet, le tonnerre tomba sur l'ancien couvent des Augustins à Paris et y mit le feu. On constata, dans le midi, beaucoup de cas de rage.

1811. — L'été de 1811 fut l'un des plus mémorables, sous plusieurs rapports, qui se soient produits dans le nord de l'Europe.

Voici le tableau des températures maxima :

Augsbourg, le 30 juillet	37°5
Vienne (Autriche), le 6 juillet	35 7
Avignon, le 27 juillet	35 0
Hambourg, le 19 juillet	34 8
Naples, le 20 juillet	34 6
Copenhague, en juillet	33 8
Liége	33 7
Strasbourg	33 0
Saint-Pétersbourg, le 27 juin	31 1
Paris, le 19 juillet	31 0

En Bourgogne, la vendange s'ouvrit le 14 septembre. Une gelée, survenue le 11 avril, avait compromis les deux tiers de la récolte; mais l'été se montra si favorable à la vigne, que les raisins repoussèrent et que l'on eut une petite récolte d'une qualité très-supérieure, qui resta longtemps célèbre sous le nom de vin de la *comète*.

1822. — L'été de 1822 a été remarquable dans toute la France par l'élévation de sa température moyenne, supérieure à la moyenne générale au nord, au centre comme au midi.

Pour Paris, on compte:

Chaleur	forte	55 jours
—	très-forte	3 —

Les maxima de température se sont ainsi distribués :

Malines, en juillet	38°8
Joyeuse, le 23 juin	37 3
Alais, les 14 et 23	36 5
Liége	35 0
Maëstricht, le 11 juin	34 0
Paris, le 10 juin	33 8

La sécheresse fut très-grande en France, durant la saison chaude : depuis le 21 août jusqu'au 26 septembre, la Seine demeura presque constamment au-dessous du zéro du pont de la Tournelle. Dès le mois de mars, dans les campagnes du midi, on était embarrassé pour abreuver le bétail. On allait chercher l'eau à des distances considérables à dos de mulet. On éprouva, au printemps, dans ces contrées, une température comme celle du mois d'août. La moisson était achevée dans le Languedoc avant le 23 juin : elle donna peu de gerbes, mais un grain très-serré. En Bourgogne, l'année se signala par la beauté inaccoutumée du ciel. On commença la vendange le 2 *septembre ;* mais, au dire des vignerons, on eût pu vendanger dès le 15 août, et, dans les environs de Vesoul (Haute-Saône), on vendangea le 19 *août !* La récolte du vin fut assez abondante et de qualité tout à fait supérieure ; celle des céréales fut moins abondante, en général, que dans les années précédentes.

1826. — Été très-chaud et très-sec. 36 jours de chaleur forte à Paris, 7 de chaleur très-forte, 2 d'extraordinaire. Moyenne de l'été très-élevée : 20°,7. Destruction des récoltes et incendies de forêts en Suède et en Danemark. Plus hautes températures observées :

Maëstricht, le 2 août	38°8
Épinal, le 1er juillet	36 5
Paris, le 1er août	36 2
Metz, le 3	36 1
Strasbourg	34 2

1834. — Cette année, sans être remarquable par des chaleurs vives, se distingue par une température moyenne, printanière et estivale, très-élevée dans toute la France. La végétation se montra précoce, et il tomba, en différents lieux, des pluies d'une distribution très-favorable aux cultures. On compte à Paris :

Chaleur forte	43 jours
— très-forte	3 —

La moyenne de l'été, 20°,45, est la plus haute de ce siècle après 1826, 1842 et 1846. La sécheresse fut très-grande en août, et la Seine descendit, le 16 de ce mois, à 0m,03 au-dessous des basses eaux de 1719. Les maxima de 1834 se sont ainsi répartis :

Avignon, le 14 juillet	35°0
Genève, le 18 juillet	34 5
Liége	33 5
Metz, le 12 juillet	33 0
Strasbourg	32 8
Paris, les 12 et 18 juillet	32 6

Dans le midi, la température, modérée par des pluies abondantes, se montra

très-douce. La Bourgogne, cette année, est restée célèbre par la qualité supérieure de son vin. On vendengea dès le 15 septembre. Cette précieuse récolte fut néanmoins médiocre pour la quantité. Il en fut de même dans le Bordelais. Dans presque toute la France la moisson fut belle.

1836. — L'été de cette année est mémorable par la constitution orageuse du mois de juin et du commencement de juillet, et le nombre des accidents funestes produits par la chaleur dans le midi de la France. En Danemark, en Russie, en Espagne, on a noté aussi des effets remarquables de la température.

La sécheresse était intense au mois d'août; la Seine descendit à $0^m,30$ au-dessous des basses eaux de 1719. On obtint dans le midi une récolte moyenne de vin d'une qualité assez bonne. Les vendanges ne commencèrent en Bourgogne que le 6 octobre. La moisson des céréales fut mauvaise.

1842. — L'été de cette année a été le plus chaud de la première partie de ce siècle, surtout sous le climat de Paris et dans le nord. Il fut aussi très-sec, car il ne tomba, à l'Observatoire, que 65 millimètres d'eau, c'est-à-dire 107 de moins que dans l'été moyen, et la Seine descendit au-dessous de zéro du pont de la Tournelle plusieurs jours en juillet, août, septembre et octobre. On compte pour Paris :

Chaleur forte....................	51 jours
— très-forte................	11 —
— extraordinaire	4 —

La température moyenne de la saison fut, à Paris, de 20°,75, c'est-à-dire de 2°,45 supérieure à la moyenne. La température de juin fut supérieure de 3° à la moyenne, celle d'août de 4°.

Voici le tableau des plus hautes températures observées :

Paris, le 18 août..........................	37° 2
Agen, le 4 juillet..........................	37 0
Bordeaux, le 16 juillet.....................	34 8
Toulouse, le 17 juillet.....................	34 4

Divers accidents, produits par la chaleur, ont été signalés. Le feu prit aux roues de plusieurs malles de la poste. A Badajoz, en Espagne, trois laboureurs succombèrent le 28 juin; une dame mourut suffoquée dans une diligence. A Cordoue, plusieurs moissonneurs périrent asphyxiés, et divers cas de folie furent attribués à la même cause.

En Bourgogne, la vendange s'ouvrit le 21 septembre; la récolte du vin fut abondante et de première qualité; mais, plus à l'est, dans le Doubs, par exemple, la quantité fut médiocre. Dans le Bordelais, la qualité fut faible. La récolte des céréales fut médiocre.

1846. — La température de cet été fut très-remarquable, et l'on éprouva des chaleurs intenses en France, en Belgique, en Angleterre. On compte, pour Paris :

Chaleur forte....................	48 jours
— très-forte................	9 —
— extraordinaire	2 —

La moyenne température estivale fut de 20°,63, c'est-à-dire de 2°,33 supérieure à la moyenne générale; la moyenne de Bruxelles fut encore plus élevée, d'après les observations de M. Quételet, et s'éleva à 21°,1.

Les maxima de cette année se présentent dans l'ordre suivant :

Toulouse, le 7 juillet	40° 0
Quimper, le 19 juin	38 0
Rouen, le 5 juillet	36 8
Paris, le 5 juillet	36 5
Orange, le 13 juillet	36 5
Angers, le 29 juillet	35 0
Metz, le 1er août	34 8

Des accidents ont été signalés en Bretagne. A la foire de Pont-de-Croix, plusieurs personnes ont eu des syncopes occasionnées par la chaleur ; à Beuzec, une petite fille, laissée imprudemment exposée au soleil, est morte en quelques minutes. La température de juin fut également excessive à Toulouse, Toulon et Bordeaux. Dans les Landes, on obtint une seconde récolte de seigle. Aux environs de Niort, au commencement de juillet, trois laboureurs expirèrent sur leur sillon.

Les vendanges s'ouvrirent, en Bourgogne, le 14 septembre : on n'obtint qu'une demi-récolte, mais de qualité très-supérieure. La récolte des céréales fut également très-médiocre.

1849. — On éprouva des chaleurs très-fortes dans le midi, et le maximum d'Orange est la température à l'ombre la plus élevée qui ait été encore éprouvée en France.

Voici le tableau des températures les plus hautes :

Orange, le 9 juillet	41° 4
Toulouse, le 23 juin	37 6
Bordeaux, le 7 juillet	34 6
Gand	34 4
Metz, le 8 juillet	33 6

1852. — L'été a été remarquable en Russie, en Angleterre, en Hollande, en Belgique, en France. On compte, pour Paris :

Chaleur forte	30	jours
— très-forte	6	—
— extraordinaire	1	—

La moyenne estivale fut, à Paris, de 19°,33, de 1 degré plus élevée que la moyenne générale. La moyenne de juillet fut de 22°,5, de 3 degrés plus forte que la moyenne de ce mois ; on éprouva une succession insolite de chaleurs vives : le 9 juillet, 31°,1 ; le 10, 33°,5 ; le 11, 31°,0 ; le 12, 32°,5 ; le 13, 33°,8 ; le 14, 34°,2 ; le 15, 34°,2 ; le 16, 35°,1.

Les plus hautes températures se sont ainsi distribuées en Europe :

Constantinople, le 27 juillet	38° 5
Rouen, le 5 juillet	36 1
Versailles, le 16 juillet	35 7
Orange, le 25 août	35 3
Dunkerque, le 7 juillet	35 7
Paris, le 16 juillet	35 1
Verviers, le 18 juillet	35 1
Londres, le 12 juillet	35 0

A Amsterdam, un thermomètre exposé à la réverbération monta, le 12 juillet, à 39°,0. A Alphen, près de Leyde, deux paysans, asphyxiés par la chaleur, furent

trouvés morts dans un champ; à Alkenaer, un chauffeur de machine à vapeur fut frappé d'aliénation mentale, après une congestion produite par l'insolation. Dans le centre de la France, le thermomètre resta plus de dix jours au-dessus de 30°. Beaucoup d'animaux domestiques succombèrent au travail. A Madrid, on souffrit beaucoup de la chaleur. A Thouroutte, en Belgique, le 11 août, on vit tomber une grêle désastreuse. Beaucoup de grêlons pesaient 75 grammes et avaient de 7 à 8 centimètres de diamètre.

En France, la moisson eut lieu généralement un peu après la mi-juillet, et fut satisfaisante pour la quantité. En revanche, la vendange ne commença que dans les premiers jours d'octobre; la récolte du vin se montra faible dans beaucoup de vignobles et de mauvaise qualité.

1857. — L'été de 1857 fut plus chaud que la moyenne en France, et présente presque partout des chaleurs intenses en juillet et août. La moyenne estivale fut, d'après les observations de l'Observatoire de Paris, de 19°,38.

Voici les plus hautes températures observées :

Montpellier, le 29 juillet................	38°6
Orange, le 18 juillet....................	38 3
Les Mesneux, le 4 août.................	37 0
Toulouse, le 27 juillet..................	36 8
Clermont, les 14 et 15 juillet, et le 3 août.	36 8
Blois, en août........................	36 5
Paris, le 4 août........................	36 2
Metz	35 6

Il y a eu trois courants distincts de chaleurs estivales. Le premier passe le 27 juin sur les stations les plus élevées et sur les plus méridionales de la France, et parvient, le 28, à notre frontière septentrionale; le second parcourt le nord-ouest du 14 au 16 juillet; le troisième, et le plus intense, à marche lente et successive, s'étend du midi au nord dans l'intervalle compris entre le 27 juillet et le 4 août.

Cet été fut d'une sécheresse extraordinaire dans la plus grande partie de la France; heureusement, dans le milieu d'août, il tomba, sur un grand nombre de points, de petites pluies bienfaisantes. La Seine, à Paris, est restée au-dessous de zéro de l'échelle du pont de la Tournelle pendant plusieurs jours, en juillet, août et septembre. En Bourgogne, on a commencé à vendanger le 16 septembre, et la récolte a été passable en quantité et bonne en qualité. Les céréales ont offert, en général, une bonne moyenne.

1858. — Cet été est signalé par une grande sécheresse et des chaleurs prolongées, plutôt qu'intenses, dans l'Angleterre, la Belgique, le centre de la France, une partie du midi et de l'Algérie. Il a été moins chaud dans le nord que celui de 1857 et plus chaud dans le midi.

Les chaleurs les plus remarquables se sont produites, en France, du 13 au 20 juin; elles se sont fait sentir le 13 sur les stations élevées, ont atteint leur maximum le 15 dans un grand nombre de points, depuis Lille jusqu'à Bordeaux, et du 19 au 20, ont acquis une intensité extrême dans les alentours de Montpellier. Du 14 au 16 juillet et du 12 au 18 août, il s'est encore produit des maxima élevés, quoique moins forts que ceux de juin, à l'exception du Var, de Vaucluse et de la Haute-Garonne, qui ont eu leur plus haute température en juillet. Voici le tableau de la répartition des maxima extrêmes :

Montpellier, le 20 juin..................	39°3

Orange, le 19 juillet	38°3
Vendôme, le 15 juin	36 1
Tours, juin	36 0
Clermont	35 8
Lille, le 15 juin	35 5
Londres, le 16 juin	34 9
Paris, le 3 juin	32 0

La sécheresse, désastreuse pour l'élève du bétail, a été très-grande dans presque toute la France pendant le printemps et la moitié de l'été; durant le mois de juin, le ciel a été d'une pureté remarquable; mais de petites pluies en juillet et des orages nombreux en août ont atténué en partie, pour le nord, l'aridité des prairies causée par un manque d'eau remontant à l'année précédente. La moisson terminée le 1er juillet dans une grande partie du midi, et le 1er août dans le nord, a donné une récolte moyenne pour la quantité, assez belle pour la qualité. Les vendanges, commencées en Bourgogne le 18 septembre, ont donné une récolte remarquable, tant pour la quantité que pour la qualité.

Parmi les dernières années, nous devons signaler les étés de 1865 et 1868 comme ayant été marqués par une longue série de chaudes journées. Les conditions du premier surtout ont été, comme chacun sait, des plus favorables à la vigne.

1865. — Les températures moyennes mensuelles, observées à l'Observatoire de Paris, ont été les suivantes :

Janvier	3°56	Juillet	19°85
Février	2 30	Août	17 72
Mars	2 21	Septembre	19 22
Avril	15 80	Octobre	12 19
Mai	16 27	Novembre	7 97
Juin	17 88	Décembre	2 29

La chaleur extrême à Paris a été de 33°,3 le 6 juillet. La moyenne des trois mois d'été est de 18°,5. En ajoutant septembre, la moyenne des quatre mois est de 18°,6, durée rare. La moyenne de l'année est 11°,44, et dépasse par conséquent la moyenne ordinaire de 0°,66.

Le mois de janvier a été relativement chaud. En avril, à partir du 4, le temps a été exceptionnellement beau et le thermomètre très-élevé, car, dès le 8, la température était celle de juin. En mai et juin, le thermomètre s'est encore maintenu au-dessus de la normale. Juillet et août ont été froids. En septembre, la température s'élève plus haut qu'en août. Octobre et novembre sont chauds.

Les plus hautes températures observées en France ont été :

Nîmes, le 5 juillet	37°9
Nice, le 10 juillet	35 3
Perpignan, le 4 juillet	35 2
Aix, le 28 août	34 7
Montpellier, le 26 juillet	34 0

1868. — Les températures moyennes mensuelles observées à l'Observatoire de Paris ont été les suivantes :

Janvier	0° 0	Avril	10° 5
Février	5 4	Mai	17 9
Mars	7 0	Juin	18

Juillet...........	21°2	Octobre..........	10°5
Août.............	18 7	Novembre........	4 9
Septembre........	17 6	Décembre........	8 6

La température maximum, à Paris, a été de 34 degrés le 22 juillet, à l'Observatoire. La moyenne des trois mois d'été est de 19°,4. Cet été fait époque dans les annales de la météorologie par son élévation thermométrique, et son ensemble de circonstances favorables aux récoltes sous le double rapport de la quantité et de la qualité. La moyenne des températures de mai, juin et juillet atteignit un chiffre singulièrement élevé dans le Midi. Ainsi, à Tours, la moyenne de mai est 18°,4; celle de juin, 19°,8; celle de juillet, 21°,8.

Les plus hautes températures observées en France ont été :

Nîmes, le 20 juillet........................	41°4
Perpignan, le 25 juillet.....................	37 2
Draguignan, le 24 juillet....................	36 9
Montauban, le 20 juillet....................	36 7
Toulouse, le 19 juillet......................	35 0
Montpellier, le 20 juillet....................	34 6
Aix, le 20 juillet...........................	34 0

Le thermomètre était monté plus haut en 1859, sans donner une telle moyenne. Celle-ci a été due moins à la hauteur des maxima diurnes qu'à celle des minima nocturnes. En effet, malgré la sérénité presque constante des nuits, le refroidissement causé par le rayonnement nocturne n'a jamais été très-marqué. Presque toujours, peu avant le lever du soleil, une brume légère, indice d'un état hygrométrique assez élevé, venait recouvrir le sol, humecter les plantes et tempérer les effets de la vive insolation des jours. La vapeur d'eau s'oppose au rayonnement de la chaleur obscure; l'air qui reposait sur nos contrées, et dont l'état hygrométrique assez élevé augmentait la transparence pour la lumière stellaire, entravait les effets du rayonnement nocturne, si énergique même dans les régions tropicales, quand il s'exerce à travers un air dépouillé d'humidité.

Cet été remarquable a influé sur la température à 1 mètre de profondeur. Pendant les étés de 1864, 65, 66 et 67, la chaleur à 1 mètre avait été marquée par 14°,29, 14°,66, 14°,03 et 14°,17. En 1868, cette chaleur a été de 15°,90, presque 16°.

Tels sont les *étés mémorables* de ce siècle.

Voici maintenant les plus hautes températures de l'air (*à l'ombre* et au nord) observées en France depuis qu'on les constate scientifiquement par le thermomètre. J'ai relevé toutes celles qui ont atteint au moins 37°, et je n'ai relevé que celles-là, excepté pour Paris où il y a plusieurs comparaisons. Les villes sont inscrites ici en allant du nord au sud.

Lieux.	Latitude.	Longitude.	Élévation au-dessus de la mer.	Dates.	Maxima extrêmes.
Saint-Omer.........	50°45′	0°5′	23m	10 août 1777	37°5
Cambrai...........	50 11	0 54	54	4 août 1783	37 5
Rouen.............	49 26	1 15	39	18 août 1800	38 0
Les Mesneux.......	49 13	1 37	85	4 août 1857	37 5
Metz..............	49 7	3 50	182	4 août 1781	38 1

Lieux.	Latitude.	Longitude.	Élévation au-dessus de la mer.	Dates.	Maxima extrêmes.
Montmorency	49° 0	0° 2	143m	18 août 1800	37° 0
Paris	48 50	0 0	65	26 août 1765	40 0
				14 août 1773	39 4
				19 août 1763	
				5 et 6 août 1705	39 0
				16 juillet 1782	38 7
				8 juillet 1793	38 4
				10 juillet 1766	37 8
				18 août 1842	37 2
				31 juillet 1803	36 7
				5 juillet 1846	36 5
				19 juillet 1825	36 3
				4 août 1857	36 2
Hagueneau	48 48	5 25	134	16 juillet 1782	39 4
Nancy	48 42	3 51	200	26 juillet 1782	37 6
Chartres	48 27	0 51	158	16 juillet 1793	38 1
Quimper	48 0	6 26	6	19 juin 1846	38 0
Montargis	48 0	0 23	116	1777 et 1778	37 5
Angers	47 28	2 54	47	17 juillet 1784	38 0
Tours	47 24	1 39	55	août 1840	38 0
Nantes	47 13	3 53	44	18 août 1800	38 8
Chinon	47 10	2 6	82	21 juillet 1783	38 1
Seurre (Côte-d'Or)	47 1	2 48	150	6 juillet 1783	39 0
Nozeroy	46 47	3 42	150	juillet 1787	37 5
Luçon	46 27	3 30	81	21 juillet 1777	38 8
La Rochelle	46 9	3 30	25	4 et 5 juillet 1836	39 0
Saint-Jean d'Angély	45 57	2 52	24	juillet 1787	37 5
Limoges	45 50	1 5	287	23, 24, 25 juillet 1800	37 5
Valence	44 56	2 33	128	11 juillet 1793	40 0
Bordeaux	44 50	2 55	18	6 août 1800	38 8
Joyeuse (Ardèche)	44 32	2 0	147	23 juin 1822	37 3
Agen	44 12	1 43	43	4 juillet 1842	37 0
Orange	44 8	2 28	46	9 juillet 1849	41 4
Avignon	43 57 N	2 28	36	14 août 1802 16 août 1803	38 1
Nîmes	43 51	2 1	114	20 juillet 1868	41 4
Manosque	43 49	3 35	400	18 juillet 1782	38 8
Arles	43 41	2 18	17	20 août 1806	37 5
Toulouse	43 37	0 54	198	30 et 31 juillet 1753	37 7
				7 juillet 1846	40 0
Montpellier	43 37	1 32	30	29 juillet 1857	38 6
Béziers	43 21	0 52	77	juillet 1847	37 0
Sorèze	43 19	0 13	500	12 juillet 1824	37 5
Pau	43 18	2 43	205	4 août 1838	38 8
Perpignan	41 42	0 34	42	29 juillet 1857	38 6

Les plus fortes chaleurs que l'on ait ressenties à l'ombre et au nord s'élèvent à 41°,4 pour la France (Orange, le 9 juillet 1849, et Nîmes, le 20 juillet 1868); à 35°,6 pour les Iles Britanniques; à 38°,8 pour la Hollande et la Belgique; à 37°,5 pour le Danemark, la Suède et la Norvége; à 38°,8 pour la Russie; à 39°,4 pour l'Allemagne; à 40°,6 pour la Grèce; à 40° pour l'Italie; à 39° pour l'Espagne et le Por-

tugal. Quant aux contrées qui n'appartiennent pas à l'Europe, les températures les plus hautes observées sur un thermomètre à l'ombre ont été, d'après Arago :

A Tunis, de	44°7
A Manille, de	45 3
En Nubie, de	46 2
A Ain-Dize (Égypte), de	46 7
A Esné (Afrique), de	47 4
A Bagdad (Asie), de	48 9
Près de Suez, expédition française d'Égypte, de	52 5
Près du port Macquarie (Archipel), de	53 9
Près de Syène (Afrique), de	54 0
A Mursouk (Afrique), de	56 2

Ce sont là les maxima des températures de l'*air*, prises à l'ombre par conséquent. L'action directe du soleil est beaucoup plus considérable. Pour n'en choisir que quelques types, le thermomètre exposé au soleil s'élève jusqu'à 63 degrés à Paris. M. Duveyrier l'a observé à 67°,7 dans le pays des Touaregs. Dans son voyage en Abyssinie, M. d'Abbadie a observé, dans des vallées qui étaient de véritables fournaises, 70° à la surface du sol, et les colonels d'état-major Ferret et Galinier, jusqu'à 75° ! (Voy. le chap. VII, *Climats*.)

Une dernière remarque à propos de toutes ces données.

Les météorologistes ont l'habitude de constater la température de l'air à l'ombre, et non la température au soleil. Ce n'est pas suffisant. L'influence du Soleil sur la nature doit être mesurée entièrement, et non pas à moitié. Les plantes n'ayant pas l'habitude de porter des parasols, reçoivent directement et sans correction les rayons du Soleil. Les extrêmes de température doivent donc être pris entre les températures glaciales observées sans abri du vent et aussi bas qu'elles peuvent descendre en réalité, et les températures torrides observées également telles qu'elles existent en plein soleil d'été.

D'ailleurs, un thermomètre à l'ombre peut donner toutes les températures imaginables, suivant le vent auquel il est exposé, le rayonnement du sol ou des édifices, et mille causes qui en certaines circonstances peuvent presque l'élever jusqu'à la température qu'il acquierrait en plein soleil en rase campagne. Ce n'est donc pas là l'influence exacte du soleil, quoique ce soit *la température de l'air*. Il est étonnant qu'on n'ait pas pris soin de faire en même temps des mesures comparatives permanentes, en toute saison, au soleil et à l'ombre. Comme la chaleur absorbée par les différents corps est d'ailleurs très-variable elle-même, on pourrait, pour se rapprocher de la condition des plantes, colorier en vert l'un des thermomètres au soleil.

De telles constatations auraient leur importance en météorologie. On les a inscrites avec raison au programme du nouvel Observatoire de Montsouris.

Devant de pareilles élévations de température, on peut se demander jusqu'à quel point l'organisme humain peut apporter une résistance qui ne le mette pas en danger de mort immédiate. La température moyenne du corps humain est de 36 degrés et demi (on l'obtient facilement en plaçant la boule d'un thermomètre sous la langue, et elle est aussi exacte qu'en faisant une incision dans le corps). Celle des oiseaux est plus élevée, et atteint 44 degrés dans certaines espèces. Celle des poissons est la plus basse,

et descend jusqu'à 14 degrés. Les êtres vivants semblent se soustraire aux lois générales de la chaleur, en ce qu'ils ne sont presque jamais à la température ambiante.

Il y a sur la terre un grand nombre de lieux habités dans lesquels le thermomètre à l'ombre et à l'exposition du nord s'élève à plusieurs degrés au-dessus de la température du sang. C'est donc à tort qu'on supposait anciennement que l'homme était suffoqué dès qu'il se trouvait dans une atmosphère plus chaude que son corps. Il n'existe aucune expérience d'où l'on puisse déduire quel est le dernier terme d'une température *habituelle* que nous puissions supporter; on sait seulement que ce terme est extraordinairement élevé quand l'épreuve ne dure qu'un petit nombre de minutes.

Tillet rapporte, dans les *Mémoires de l'Académie* pour 1764, que les filles de service attachées au four banal de La Rochefoucauld restaient habituellement dix minutes dans ce four, sans trop souffrir, quand la température y était de 132° centigrades, c'est-à-dire supérieure de 32° à la température de l'eau bouillante. Au moment d'une des expériences, il y avait autour de la fille de service des pommes et de la viande de boucherie qui cuisaient.

En 1774, Fordyce, Banks, Solander, Blagden, Dundas, Home, Nooth, lord Seaforth et le capitaine Phipps entrèrent dans une chambre où la température était de 128°, et y restèrent huit minutes. Leur température naturelle s'accrut légèrement. Dans la même chambre, à côté des observateurs, des œufs devinrent durs, un bifteck cuisit et l'eau entra en ébullition.

On a vu à Paris, en 1828, un homme entrer dans un four d'un mètre de hauteur, et dans lequel un thermomètre placé vers la partie supérieure marquait 137°; il y resta cinq minutes; il était couvert d'abord d'un léger vêtement de coton, ensuite d'un vêtement de laine rouge, épais, doublé de toile, et par-dessus d'une sorte de carrick en laine blanche également doublé; il portait sur la tête un capuchon de pénitent en laine blanche doublée. (Arago, VIII, p. 514.)

On peut endurer avec la main une température

De 47°0 dans le mercure;	De 54°0 dans l'huile;
De 50 5 dans l'eau;	Et de 54 5 dans l'alcool.

On s'est assuré, par expérience, que quelques personnes boivent habituellement le café à la température de 55° centigrades.

Newton a donné 42° centigrades comme la plus forte chaleur d'un bain d'eau où l'on puisse tenir la main en la remuant. Il s'assura que si la main reste immobile, on peut aller à 8° au delà, ou à 50° centigrades.

Le médecin Carrère rapporte qu'un homme robuste ne put pas rester plus de trois minutes dans un bain d'eau thermale du Roussillon, dont la température était de 50° centigrades.

Le docteur Berger fixe à 42° centigrades la chaleur d'un bain d'eau pure, qu'on ne peut endurer sans en être incommodé, sans que le pouls s'accélère d'une manière inquiétante.

Cependant et comme bouquet de ces tours de force, le maréchal Marmont, duc de Raguse, certifia à Arago qu'il avait vu à Broussa, en compagnie d'un médecin autrichien, le docteur Jeng, un Turc se baigner dans un bain d'eau de 78°!

CHAPITRE VI.

L'AUTOMNE. — L'HIVER.

LA TERRE VÉGÉTALE. — PAYSAGES D'HIVER. — LE FROID. — LA NEIGE.
LA GLACE. — LE GIVRE, LE GRÉSIL, ETC.

LES HIVERS MÉMORABLES. — LES PLUS BASSES TEMPÉRATURES OBSERVÉES.

Auguste Comte avait émis l'idée de réunir toutes les forces dont le genre humain peut disposer, et d'essayer de redresser l'axe du monde. Milton raconte qu'avant la faute d'Adam (et d'Ève) l'axe de rotation du globe était perpendiculaire sur l'écliptique, si bien qu'il n'y avait pas de saisons, et que la Terre jouissait d'un printemps perpétuel; mais qu'après la pomme Jéhovah se fâcha et donna un coup de pied à notre pauvre planète qui, depuis ce temps-là pirouette gauchement et subit tour à tour les ardeurs de l'été et les rigueurs de l'hiver. Sans doute, si la Terre n'avait pas ces saisons si disparates, qui donnent à l'intelligence humaine une si mauvaise hospitalité, l'organisation de la nature animée aurait été faite par des forces moins rudes, et nous jouirions d'un état harmonique plus uniforme. Ce serait une condition d'habitabilité supérieure à la nôtre. Mais l'axe est incliné! et il l'a toujours été, et il le sera toujours, de sorte qu'il n'y a pas eu, et qu'il n'y aura pas vraiment d'âge d'or sur cette terre. Par suite de cette inclinai son, les organismes végétaux et animaux ont été successivement constitués pour vivre dans le milieu ambiant, moins délicats, moins sensibles, moins élevés qu'ils ne l'eussent été dans une condition supérieure. Mais tels qu'ils sont, ils se trouvent par leur nature même en correspondance avec le régime terrestre, de telle

sorte que si tout d'un coup l'axe venait à se redresser, le printemps perpétuel que nous aurions en perspective serait funeste pour la vie attribuée à la Terre, et que nous regretterions fort nos anciennes saisons et même nos hivers.

En effet, l'automne et l'hiver ne sont pas moins indispensables à la marche de la vie terrestre que le printemps et l'été. Après nous avoir donné ses fleurs et ses fruits, la Terre réclame le repos, le calme, le silence, et son sein n'est intarissable que sous la condition d'être régénéré périodiquement. L'automne est la saison de passage entre la chaleur et le froid, passage qui tout en s'opérant graduellement suivant l'inclinaison croissante de notre horizon jusqu'au solstice d'hiver est toutefois traversé par des chocs météorologiques provenant des bourrasques, des vents, des glaces formées sous les hautes latitudes, de variations qui en définitive constituent les conditions de la vie de la planète. A l'époque de l'inclinaison la plus oblique du soleil et des jours les plus courts, la Terre, de plus en plus refroidie, semble tomber lentement dans les glaces de la mort. Mais la surface seule subit le dépouillement et cette dispersion glaciale : nous avons vu qu'à quelques mètres de profondeur l'hiver est l'époque la plus chaude, et que plus bas la couche terrestre jouit d'une température uniforme, égale à la moyenne du lieu.

Fructidor, vendémiaire, brumaire nous présentent la nature sous son aspect sérieux et sévère. La verdure uniforme du printemps et de l'été a fait place à la diversité des nuances qui précède la chute des feuilles. Les paysages sont plus modelés, les tons des nuages comme ceux des bois sont plus chauds et plus fixes, comme si, avant de s'éteindre, la nature voulait affirmer aux yeux de l'homme sa grandeur et son éternité. On n'entend plus les joyeuses chansons de l'oiseau bâtissant son nid dans les buissons et sur les branches; on ne respire plus les parfums légers et délicats des fleurs de mai; c'est une époque solennelle qui s'annonce dans l'Atmosphère, car la Terre en s'inclinant de plus en plus sous les rayons du Soleil semble rentrer en elle-même et se recueillir dans le sentiment de son individualité personnelle. Les broderies végétales de la lumière et de la chaleur se dissolvent et tombent, le vent souffle et emporte les feuilles, les fruits sont cueillis, depuis les produits du verger créé par la civilisation jusqu'à ceux de la vigne : Pomone a remplacé Cérès et Flore, et l'industrie humaine affirme chaque année son œuvre la plus ancienne et la plus constante en appelant l'homme dans les habitations confortables sous lesquelles

intempéries de l'automne et de l'hiver, et peut
ɜ rude époque au milieu des travaux de l'esprit
ɜs grâce à l'invention de l'imprimerie; au milieu
ons de l'intérieur et de la fraternité des âmes
'rimaire, pluviôse, nivôse exercent une concen-
ur le moral de l'homme bien différente de l'ex-
lumineuses et chaudes journées du printemps
ɜs sur la nature terrestre, nous subissons sou-
son influence variable, laquelle devrait toujours
vantage si nous menions une vie intellectuelle
haque saison peut donner à l'esprit comme au
'e variation d'activité, et malgré les 23 degrés
'axe, cette planète pourrait être d'un séjour
étions quelque peu *spirituels*. Mais non : au lieu
ment calmes et heureux, nous passons notre
e à nous battre mutuellement, par toutes les
s, depuis les propos de l'envie et de la jalousie
u canon des guerres internationales et civiles.
comment l'obliquité croissante des rayons solai-
oidissement de notre hémisphère et forme les
et d'hiver. Nous verrons plus loin comment les
r office à celui de la chaleur et du vent pour
et la rendre propre à la végétation. La terre vé-
omme les terrains géologiques, un simple pro-
inéral : elle doit au contraire son existence au
'ique. L'*humus* qui constitue l'élément fonda-
sable de la terre végétale est un produit de la
ne combinaison de carbone, d'hydrogène, d'a-
telle qu'elle ne peut pas être produite par les
non organisée, parce que dans la nature morte
s'allient que par la combinaison simple de deux
non toutes ensemble, comme cela a lieu ici
, *Chimie agricole*, I, p. 371); à ces substances
umus, il s'en joint encore quelques autres en
ɜ : du phosphore, du soufre, un peu de terre pro-
uelquefois différents sels. Comme l'humus est
la vie, de même aussi il en est la condition. Il
e aux corps organisés; sans lui il ne saurait y
iduelle, tout au moins pour les animaux et les
parfaits : ainsi la mort et la destruction sont
nentation et à la reproduction d'une nouvelle

vie. A l'exception de l'eau, c'est la seule substance qui dans le sol fournisse un aliment aux plantes. Nous n'avons qu'à observer les progrès de la végétation sur les rochers nus pour étudier l'histoire de la terre arable depuis le commencement du monde. D'abord il s'y forme des lichens et des mousses, dans la décomposition desquels des plantes plus parfaites trouvent leur nourriture. Celles-ci à leur tour augmentent la masse du terreau par leur putréfaction; ainsi, à la fin, il s'y forme une couche d'humus, qui peut alimenter les arbres les plus vigoureux.

L'automne, en répandant à la surface de la Terre les dépouilles des bois, les débris de la végétation dont les coteaux et les plaines étaient enrichis aux beaux jours du soleil, et en arrosant le sol par ses pluies multipliées; l'hiver, en ensevelissant les campagnes endormies sous son immense couverture de neige, préparent l'un et l'autre les conditions de la vie nouvelle qui doit ressusciter au printemps. Sans l'air les plantes ne respireraient pas et ne sauraient exister, même les plus inférieures. Sans l'air, la surface du sol ne pourrait recevoir le moindre tapis de mousse, ni le plus léger humus végétal : la terre serait partout abrupte, stérile et dénudée. Sans l'air, les nuages ne sauraient se former, ni se tenir suspendus au-dessus des campagnes. Sans l'air, il n'y aurait ni pluies, ni eau, ni humidité, ni vent, ni circulation. L'Atmosphère s'affirme, de quelque côté qu'on l'étudie, comme la condition suprême et comme l'organisatrice permanente de la double vie végétale et animale qui fonctionne sur cette planète. Les saisons modifient constamment le sol géologique lui-même. Pour l'observateur peu réfléchi, il semble que les roches et les substances minérales soient absolument indestructibles, qu'elles représentent pour ainsi dire le type de la stabilité et de la durée. Mais un peu d'attention fait voir que les roches se détruisent sans cesse, et que toute substance minérale exposée à l'air et à la pluie est forcément vouée à la destruction. L'air, par son humidité, son acide carbonique et son oxygène, exerce sur les roches une puissance d'altération vraiment extraordinaire. Aucun rocher ne résiste à son influence : calcaire et basalte, granit et porphyre, rien n'est à l'abri de l'attaque chimique de l'Atmosphère et de l'eau. Ce que les poëtes et les rhéteurs appellent *la main du temps* n'est autre chose que cette action chimique s'exerçant pendant un long intervalle. Les alternatives de chaleur et de froid sont de puissants auxiliaires de l'air dans cette œuvre de destruction. Le froid brise en fragments, par suite de la congélation de l'eau qui

les a pénétrées, les pierres que l'action de l'air doit ensuite décomposer : c'est une division mécanique qui prépare et facilite une décomposition chimique.

Le calcaire grossier retiré des terrains tertiaires, avec lequel on bâtit les maisons de Paris, subit une désagrégation lente, qui les fait tomber en poussière. Le peuple attribue cette altération à l'astre des nuits; il dit que *la Lune mange les pierres*. — Le savant hydraulicien Bélidor fait à ce propos la consolante remarque que les actions étant réciproques et la Terre étant bien plus grosse que la Lune, elle doit lui en manger bien davantage !

Ainsi, de nos jours et sous nos yeux, l'action combinée de l'eau et de l'Atmosphère produit, en agissant sur les roches qui composent les montagnes, des éboulements, des chutes de terrains, etc., aussi désastreux quelquefois que les tremblements de terre ou les éruptions volcaniques.

Les montagnes se détruisent sans cesse. Le froid fend et divise les roches, l'air les décompose, l'eau les lave et les emporte. C'est un nivellement général opéré par les seules forces de la nature. Si la Terre dure assez longtemps et n'a plus de ces secousses qui laissent des reliefs à sa surface, les montagnes finiront par s'user, les vallées et la mer par s'exhausser; si bien que, comme rien ne se perd, l'eau de l'océan, débordant petit à petit, occupera à la fin toute la surface du globe, avec deux cents mètres d'épaisseur — couche suffisante pour noyer le genre humain et ses œuvres.

Ainsi l'air, soit directement, par son action lente, soit par l'intermédiaire des végétaux et des animaux, modifie constamment la surface de notre planète. Aujourd'hui c'est la mince couche de terre arable qui constitue pour nous la plus grande richesse de la terre. Cette couche est extrêmement mince, et dans la plupart des pays n'atteint guère plus d'un pied d'épaisseur. La culture dépend à la fois de sa composition chimique, de l'engrais par lequel on l'enrichit, et du sous-sol sur lequel elle repose. Ce sous-sol n'est pas insignifiant, car suivant qu'il est argileux, sablonneux ou calcaire la pluie agit en des proportions plus ou moins favorables. On peut remarquer facilement la mince épaisseur de la terre végétale par les nombreuses tranchées que l'industrie des chemins de fer a opérées un peu partout, surtout lorsque ces tranchées sont faites dans la craie blanche (comme par exemple au sud de Paris, au chemin de fer de Sceaux, de Montsouris à Arcueil, où la terre grise de la surface n'est qu'un tapis de quelques décimètres d'épaisseur.

Les saisons, dont la valeur astronomique est due à la transla-

Hachette & Cie

Eug. Cicéri pinx^t.

Eug. Cicéri, Chromolith.

PAYSAGE D'HIVER

Imp. Lemercier & Cie Paris

tion de la planète inclinée autour du Soleil relativement immobile, et dont l'œuvre météorologique est due à l'existence et à la nature de l'Atmosphère, les saisons, disons-nous, se succèdent comme nous l'avons analysé pour l'entretien de la vie terrestre. Nous arrivons à la dernière, à l'hiver, sombre, froid et glacé. Prenons une juste idée des météores qui le caractérisent.

Tout d'abord, regardons ensemble ce paysage d'hiver qui vient de passer sous nos yeux. C'est *le même* que celui que nous avons vu, coloré et plein de mouvement, par une belle journée d'été (p. 372). Il est transformé maintenant sous le ciel gris et silencieux d'hiver. Le vert feuillage a disparu des arbres, la prairie est recouverte d'une couche de neige grésillante, le ruisseau est gelé et l'habitation du paysan semble morte elle-même comme la nature....

Avec l'abaissement progressif de la température, le thermomètre est descendu jusqu'au niveau inférieur de ses indications calorifiques, jusqu'au zéro, point remarquable, où l'eau cesse de garder son état liquide, et devient *solide!* comme le minéral. Elle peut alors revêtir des formes différentes, soit qu'elle devienne massive, à l'état de glace, soit qu'elle s'agglomère légèrement dans les fines broderies du givre, soit qu'elle tombe lentement en paillettes de l'Atmosphère et se soude dans les flocons étoilés de la neige. C'est ordinairement par ce dernier météore que l'hiver commence à s'affirmer, car la neige se produit dès que la température est descendue à zéro. Si cette température égale ou inférieure à zéro s'étend depuis les nuages jusqu'à la surface de la terre, l'eau arrive jusqu'au sol à l'état de neige. Si la neige en tombant n'a qu'une faible couche d'air au-dessus de zéro à traverser, et qu'elle soit abondante, elle arrive de même à l'état de neige et y persiste. C'est ce que l'on voit parfois en été (exemple : la chute de neige du 4 juillet 1868 près de Nice, entre la Tinée et la Vésubie, qui persista jusqu'au lendemain dans les vallées de Saint-Sauveur et de Rimplas). Si la couche d'air qui avoisine le sol est d'une haute température et d'une épaisseur de plusieurs centaines de mètres, la neige n'arrive pas jusqu'à terre, et nous recevons de la pluie plus ou moins froide. C'est le cas d'un grand nombre d'averses de printemps et d'automne, car au-dessus de la ligne de zéro dans l'Atmosphère, que nous avons tracée plus haut, l'eau des nuages est constamment à l'état de neige, aux jours les plus chauds de l'été aussi bien qu'en hiver.

En développant son tapis à la surface de la terre, la neige forme à la fois une couverture et un écran : une couverture, parce qu'é-

tant peu conductrice, elle s'oppose au passage de la chaleur et empêche la terre qui la supporte de se refroidir jusqu'au degré de l'air; un écran, parce qu'elle s'oppose au rayonnement nocturne. C'est ce que M. Boussingault a constaté à Bechelbronn, en 1841, en plaçant un premier thermomètre *sur* la neige et en recouvrant la boule de neige, un second *sous* la neige, en contact avec le sol, et un troisième à l'air libre à 12 mètres de hauteur. Voici quelques-unes de ses remarques :

	11 fév., 5 h. soir.	12, lev. soleil.	12, 5 h. 30 soir.	13, lev. soleil.	13, 5 h. 30 soir.
Sous la neige.	0°,0	— 3°,5	0°,0	— 2°,0	0°,0
Sur la neige..	— 1 5	— 12 0	— 1 4	— 8 2	— 1 0

La température est toujours plus élevée au-dessous de la neige qu'au-dessus. Sans la neige, dans les matinées du 12 et du 13 février citées ci-dessus, les feuilles, les tiges, le collet des racines auraient subi un froid de — 12° et de — 8°. Ce sont ces refroidissements nocturnes qui font périr un grand nombre de plants de blé d'automne quand le champ n'est pas abrité.

Au sommet du Mont-Blanc, Ch. Martins a observé — 17°,6 à la surface de la neige, et — 14°,6 à deux décimètres de profondeur (28 août 1844).

Je relèverai aussi les expériences de Rozet, dans lesquelles la température du sol sous la neige se montre à —1°,5 et —2 degrés, celle du sol découvert de neige étant à —2°,5 et —3 degrés (Paris, janvier 1855).

La neige ajoute encore une influence aux premières en faveur de la fertilisation du sol. Comme la pluie et comme les brouillards, elle renferme une proportion notable d'ammoniaque (plusieurs milligrammes par litre d'eau), qui existe à l'état volatil dans l'Atmosphère, et qu'elle prend et ramène sur le sol en s'opposant ensuite à sa volatilisation, qui ne manque jamais d'arriver après les pluies et surtout après les pluies chaudes.

Si, comme il arrive ordinairement, la terre a subi, avant que la neige tombe, l'action d'une forte gelée, capable de tuer les insectes nuisibles, toutes les chances sont en faveur d'une année fertile.

Originairement, c'est-à-dire dans les nuages glacés des hauteurs de l'Atmosphère, la neige paraît être formée de filaments de glace extrêmement déliés. Lorsque les gouttelettes d'eau qui forment les brouillards et les nuages ordinaires se congèlent, ce qui n'arrive que par des froids de 20 et 30 degrés, sous l'influence des hautes altitudes ou de courants glacials, il est probable que ces gouttelettes ne gardent pas alors leur état sphéroïdal, mais qu'elles

tombent un instant, et prennent la forme d'un filament qui se gèle au moment même de la transformation physique. En vertu des lois de la cristallisation, ces petits filaments de glace se soudent suivant des angles de 60 degrés, et forment les figures si nombreuses, mais toutes du même ordre géométrique, de la neige. Puis ces nuées de neige descendent plus ou moins vite dans leur atmosphère calme, se dilatent ou se resserrent plus ou moins suivant les conditions de température auxquelles elles sont soumises. C'est ainsi que je considère la formation de la neige, sans toutefois l'affirmer, car nul n'a encore assisté directement à cette formation, et malgré mon grand désir, je n'ai pas encore réussi à m'élever en ballon jusqu'à *l'origine* d'une chute de neige[1].

La construction des flocons de neige a frappé depuis longtemps les observateurs. Keppler parle de leur structure avec admiration, et d'autres physiciens ont cherché à en déterminer la cause; mais c'est seulement depuis l'époque où l'on a appris à connaître les lois de la cristallisation en général (ex : soufre, sel, etc.) qu'il a été possible de jeter quelque lumière sur ce sujet.

Nous apprenons en géométrie que de tous les polygones inscrits dans un cercle il n'y en a qu'un seul dont tous les côtés soient égaux aux rayons de ce cercle : c'est l'hexagone régulier, ou figure à six côtés. Or, c'est cette figure géométrique simple et complète que la nature semble préférer à toutes les autres. C'est elle que l'abeille et la guêpe construisent dans leurs alvéoles, et l'ingénieuse mouche à miel a résolu de plus le grand problème géométrique de « fournir le plus d'espace avec le moins de matière » en donnant pour fond à son hexagone une pyramide à trois rhombes égaux. Cette figure hexagonale est découpée sur les fleurs des champs, et nous la retrouvons dans les cristallisations de la glace et de la neige, dans l'analyse de toutes les formes présentées.

La tendance de la glace à prendre une forme cristalline est rendue sensible par les dessins de feuilles de fougère que l'on observe

1. Dans son ascension du 26 juin 1863, M. Glaisher rencontra à 4500 mètres un nuage de neige immense, car il s'étendait sur une épaisseur de 1800 mètres. C'était une scène véritablement admirable. Cette neige était entièrement composée de petits cristaux parfaitement visibles, d'une délicatesse extrême. On voyait les pointes écartées les unes des autres, suivant deux systèmes de cristallisation, car les intervalles angulaires étaient les uns de 60° et les autres de 60+30, ou 90°. Il y avait une multitude de formes variées qu'il était facile de reconnaître, en les recueillant sur la manche de l'habit.

Quand cette neige cessa de tomber, les aéronautes n'étaient plus qu'à dix mille pieds du sol, et entraient dans un brouillard épais dont ils ne purent sortir qu'en touchant le sol.

sur les carreaux de vitre en hiver, quand l'eau vient à s'y congeler. Chacun a vu ces cristaux arborescents sur les fenêtres des pièces non chauffées, figures souvent fantastiques dont le petit dessin ci-dessus (fig. 123) donne simplement l'idée analytique. Les lignes naissent, se prolongent, se multiplient comme des rameaux, s'étendent sur le tableau de verre en faisant constamment des angles de 60 degrés.

Si nous prenons un bloc massif de glace, nous pourrons, en le fondant lentement au foyer d'un faisceau de lumière électrique et en projetant cette dissection sur un écran, apercevoir les molécules de glace se séparant les unes des autres en laissant voir leur structure géométrique. La force cristalline avait silencieusement et symétriquement élevé atome sur atome; le faisceau électrique les fait tomber silencieusement et symétriquement. « Observez cette image, disait sir John Tyndall à l'une de ses leçons de l'Institution

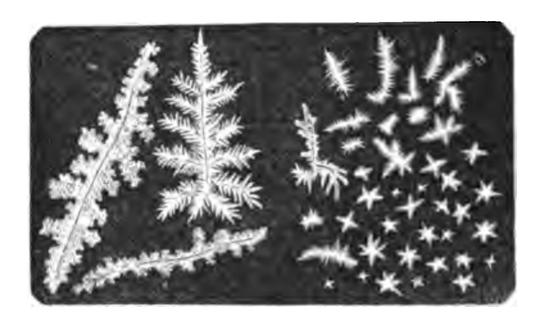


Fig. 123. — Arborescences de la glace sur les vitres.

royale d'Angleterre, observez cette image (fig. 124), dont la beauté est encore bien loin de l'effet réel. Voici une étoile, en voilà une autre; et à mesure que l'action continue, la glace paraît se résoudre de plus en plus en étoiles, toutes de six rayons et ressemblant chacune à une belle fleur à six pétales. En faisant aller et venir ma lentille, je mets en vue de nouvelles étoiles; et, à mesure que l'action continue, les bords des pétales se couvrent de dentelures, et dessinent sur l'écran comme des feuilles de fougère. Très-peu, probablement, des personnes ici présentes étaient initiées aux beautés cachées dans un bloc de glace ordinaire. Et pensez que la prodigue nature opère ainsi dans le monde tout entier. Chaque atome de la croûte solide qui couvre les lacs glacés du Nord a été fixée suivant cette même loi. La nature dispose ses rayons avec harmonie, et la mission de la science est de purifier assez nos organes pour que nous puissions saisir ses accords. »

ʼen des figures de la neige conduit à des impressions non
ˀ sur l'existence de la géométrie, du Nombre et de la
ʼes œuvres de la nature. Ce ne sont plus seulement
· de glace comme les précédentes que l'on a pu
ıʼssiner dans les flocons si légers de la neige, mais

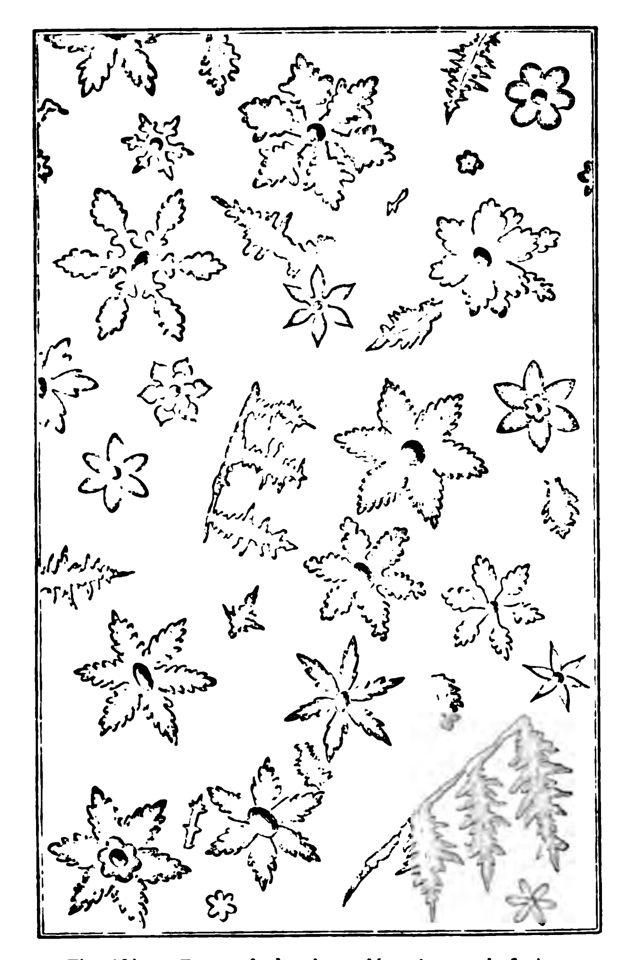


Fig. 124. — Fleurs de la glace, dégagées par la fusion.

plus d'un cent d'espèces différentes et toutes construites suivant ce même angle fondamental de 60 degrés. Le capitaine Scoresby, dans ses voyages aux mers polaires, en a étudié et dessiné un total de 96, dans une planche remarquable que nous reproduisons ici. Kaëmtz ajoute à ces 96 combinaisons différentes du même angle, que pour sa part il en a rencontré au moins une vingtaine de plus,

et que les variétés s'élèvent probablement à plusieurs centaines. « Qui n'admirerait pas ici, s'écrie-t-il, la puissance infinie de la nature, qui a su créer tant de formes diverses dans des corps d'un si petit volume! » (*Météorologie*, trad. de Ch. Martins, p. 121.)

La première forme (fig. 125) est la plus fréquente; elle a ordinairement 2 millimètres de diamètre, et se produit par des températures voisines de zéro. Les hexaèdres ne dépassent pas 3 dixièmes de millimètre, et se produisent par les froids les plus intenses. Ces flocons à noyaux et à aiguilles ramifiées se produisent par des températures inférieures de plusieurs degrés seulement à zéro, et mesurent de 4 à 5 millimètres de diamètre.

Plus le froid est intense et plus la neige est fine. Dans les régions polaires, par des froids de 20 degrés, elle est à l'état de poudre. Ce fait se présente quelquefois sous nos latitudes; ainsi dans l'hiver de 1829-1830, en Suisse, à Yverdun, le 1er février, cette neige dite polaire tomba par un froid de 20 degrés.

Il y a des chutes de neige d'une abondance parfois formidable. L'année 1850, entre autres, a été signalée dans l'Europe entière par la quantité qu'elle a présentée. La neige s'éleva à 45 pieds sur le mont Saint-Bernard, et pour sortir de leur couvent les religieux étaient obligés de creuser un passage à travers les couches amoncelées. Toute l'Attique en fut couverte à la hauteur d'un mètre. De mémoire d'homme, disent les relations, un pareil phénomène ne s'était produit; les montagnes de l'Hymette, du Pentélique et de Parnés ne formaient, avec la vaste plaine des Oliviers, qu'une nappe blanche ondulée. Elle tomba abondamment dans les rues de Naples, dans les Ardennes, le Luxembourg, en Corse, et à Constantinople; les communications même furent interrompues pendant plusieurs jours; on trouva un assez grand nombre de personnes gelées sur les routes.

Dans les contrées boréales, en Sibérie, les tempêtes de neige sont plus effrayantes encore et plus funestes que l'intensité du froid. Ces bourans durent d'un à trois jours, dit Humboldt, l'atmosphère devient obscure par la masse de neige qui tombe ou qui est soulevée par la violence du vent. En 1827, tous les troupeaux de la horde intérieure des Kirghiz, entre l'extrémité de l'Oural et le Volga, furent chassés par un bouran vers Saratow. Il périt à cette occasion 280 500 chevaux, 30 400 bêtes à cornes, 10 000 chameaux et plus d'un million de brebis.

De tels malheurs, quoique moins terribles, ne sont pas inconnus dans les climats tempérés. Le 8 janvier 1848, un convoi du train,



Fig. 125 — Les figures de la neige.

voyageant d'Aumale à Alger, fut assailli sur les hauteurs de Sak-Hamondi par une tempête de neige qui précipita les mulets dans les ravins, et, en moins d'un quart d'heure, causa la mort de 14 hommes sur 44 qui composaient l'expédition.

La neige tombe parfois en flocons si serrés que derrière les premiers plans elle forme un voile blanc nuageux qui dérobe le paysage. Ces intenses chutes de neige se rencontrent surtout sur les plateaux élevés de l'Asie ou des Andes, où les caravanes les ont souvent observées, comme notre dessin le rappelle ici. Les chemins

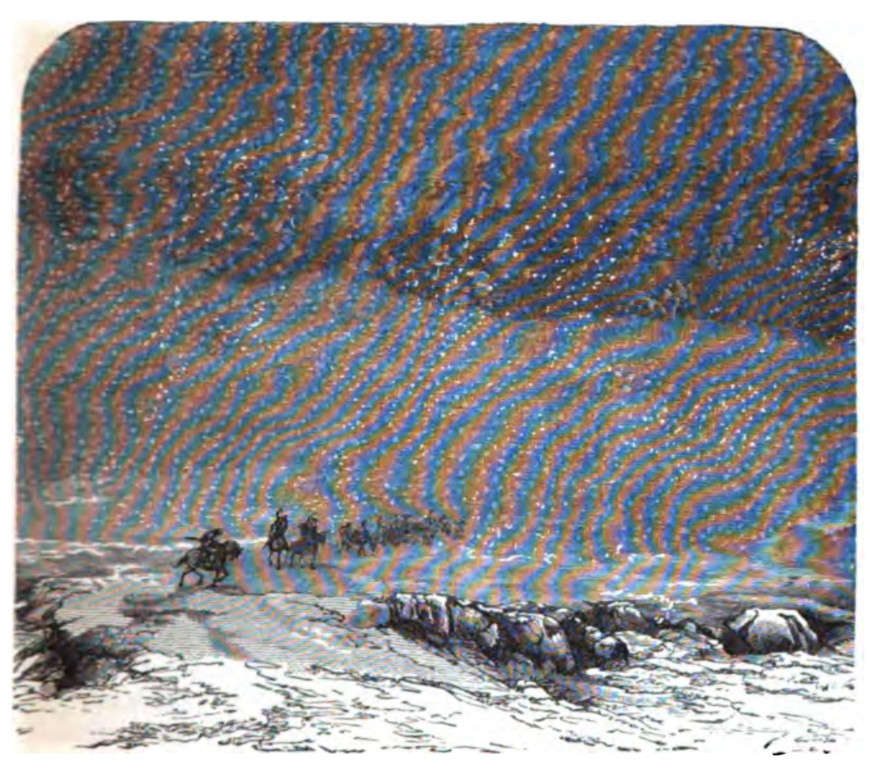


Fig. 126. — Une chute de neige dans les Andes.

s'effacent vite sous le linceul mobile qui les recouvre, l'orientation devient difficile, et de même que dans les chutes les plus rares de nos contrées, les voyageurs s'égarent sur le Saint-Bernard ou même dans nos plaines françaises pour s'endormir du dernier sommeil, de même dans ces chutes assez fréquentes des plateaux, le voyageur s'arrête, éperdu, s'enfonce dans les ravins s'il cherche son chemin, tombe en léthargie s'il se repose, et trop souvent n'a d'autre terme que la mort pour sortir du météore qui l'ensevelit.

On a essayé de déterminer la densité de la neige; les résultats obtenus varient. Sedileau avait trouvé que généralement la neige,

en se fondant, se réduit à un volume cinq à six fois moindre. La Hire, en confirmant cette observation, ajoutait qu'en 1711 il avait observé une neige qui s'était réduite au douzième de son volume en passant à l'état liquide. Musschenbrock assure avoir vu, de son côté, à Utrecht, une neige de forme régulière qui était vingt fois plus légère que l'eau. Depuis les recherches de ces physiciens, nous n'avons comme observations spéciales que celles de M. Quételet, desquelles il résulte que la densité de la neige peut être considérée comme étant, en moyenne, à peu près la dixième de celle de l'eau; on peut, d'après cette estimation, calculer assez exactement la hauteur de la neige tombée dans les circonstances les plus remarquables.

La neige la plus forte qui ait été enregistrée à Bruxelles, est celle des 16 et 17 février 1843; l'eau recueillie en 24 heures était de 18 millimètres 21; du 15 au 16, elle a été de 14 millimètres 13: ce qui équivaut, en 48 heures, à plus de 32 centimètres de neige. Le vent soufflait du N. E.; le thermomètre se tenait au-dessous de zéro, et le baromètre était fort bas : 735 mill.

Une neige très-légère se forme dans les matinées d'hiver, d'automne et de printemps, autour des branches humides des arbres et sur les tiges des plantes, lorsque la température de l'air est inférieure à zéro. C'est le *givre*, que l'on pourrait nommer aussi une rosée glacée, et dont les broderies souvent merveilleuses donnent à nos paysages d'hiver ce mélange particulier de sévérité et de mélancolie qui les caractérise. Le givre se forme surtout par les matinées de brouillard, et souvent le soleil n'arrive que dans l'après-midi à fondre ces légères stalactites végétales déposées par l'humidité atmosphérique. La formation du givre ou de la gelée blanche a pour explication la théorie de la rosée, dont nous parlerons plus loin.

Les bourrasques amènent parfois une pluie de neige plus dense et plus fine que la neige ordinaire, le *grésil*. Ces gouttes d'eau glacée ne proviennent probablement pas des nuages à l'état de neige, mais gèlent en tombant, et ne présentent plus les formes symétriques que nous avons admirées. Peut-être est-ce de la neige dispersée par des coups de vents brusques et chauds. On remarque surtout ces chutes à la fin de l'hiver et dans les giboulées de mars. Le grésil rentre dans la classification des météores aqueux produits par le froid. La grêle, qui semble être du grésil en grand, en diffère toutefois par son origine, et nous l'étudierons dans nos chapitres spéciaux sur les pluies et les orages.

Lorsque la pluie arrive à l'état liquide sur un sol dont la surface est à une température inférieure à la glace, cette eau se congèle et couvre d'une couche glissante le terrain et parfois les plantes et tous les objets répandus sur le sol. C'est le *verglas* dont on voit des exemples à Paris un ou deux jours chaque hiver, et un peu moins rarement dans la campagne, dont le sol est toujours d'une température inférieure en hiver à celui des grandes villes.

Arrivons maintenant au principal phénomène de l'hiver, à la formation de la glace.

Lorsque la température reste quelque temps descendue au-dessous de zéro, les eaux *tranquilles* se gèlent par la surface. Une petite ride commence à rendre mate cette surface, et forme une première pellicule mince qui s'épaissit et blanchit si le froid continue. La théorie s'explique d'elle-même par l'équilibre des couches d'eau de diverses températures et de diverses densités.

Si l'on jette pêle-mêle dans un même vase des liquides de densités différentes, mais qui n'aient pas d'affinité chimique, le plus lourd finit par aller se placer au fond, et le plus léger à la surface.

Tous les corps augmentent de densité quand leur température diminue. L'eau seule, dans une certaine étendue fort petite de l'échelle thermométrique, offre une exception singulière à cette règle. Prenons de l'eau à 10° centigrades; faisons-la refroidir graduellement; à 9°, nous trouverons plus de densité qu'à 10°; à 8, plus de densité qu'à 9; à 7 plus de densité qu'à 8, et ainsi de suite jusqu'à 4°. A ce terme, la condensation cessera; dans le passage de 4° à 3°, il se manifestera déjà une diminution de densité sensible. Cette diminution se continuera quand la température descendra de 3 à 2, de 2 à 1 et de 1 à zéro. En résumé, l'eau a un maximum de densité qui ne coïncide pas avec le terme de sa congélation, et qui est à 4° au-dessus de zéro.

Rien de plus simple maintenant que de déterminer de quelle manière s'opère la congélation d'une eau stagnante.

Supposons qu'au moment où le vent du nord amène la gelée, l'eau dans toute sa masse soit à 10°. Le refroidissement du liquide, par le contact de l'air glacial, s'effectue de l'extérieur à l'intérieur. La surface qui, par hypothèse, était à 10°, ne sera bientôt qu'à 9°; mais à 9°, l'eau est plus lourde qu'à 10°; donc elle tombera au fond de la masse, et sera remplacée par une couche non encore refroidie, dont la température est à 10°. Celle-ci, à son tour, éprouvera le sort de la première couche, et ainsi de suite. Dans un temps plus ou moins long la masse tout entière sera donc à 9°.

De l'eau à 9° se refroidira précisément comme de l'eau à 10° par couches successives. Chacune à son tour viendra à la surface perdre 1 degré de sa température. Le même phénomène se reproduira avec des circonstances exactement pareilles, à 8, à 7, à 6 et à 5°. Mais dès qu'on arrivera à 4°, tout se trouvera changé.

A 4°, en effet, l'eau sera parvenue à son maximum de densité. Quand l'action atmosphérique aura enlevé 1 degré de chaleur à sa couche superficielle, quand elle l'aura ramenée à 3°, cette couche sera moins dense que la masse qu'elle recouvre; donc elle ne s'y enfoncera pas. Une nouvelle diminution de chaleur ne la fera pas enfoncer davantage, puisqu'à 2° l'eau est plus légère qu'à 3°, etc.

En restant toujours à la surface extérieure sans cesse exposée à l'action refroidissante de l'Atmosphère, la couche en question perdra bientôt les 4 degrés primitifs de sa chaleur. Elle finira donc par arriver à zéro et par se congeler.

La lame superficielle de glace, quelque singulier que le phénomène paraisse, se trouve alors posée sur une masse liquide, dont la température, au fond du moins, est de 4° au-dessus de zéro.

La congelation d'une eau calme ne saurait évidemment s'opérer d'une autre manière.

Les rivières et les *eaux courantes* ne se gèlent pas par la surface, comme les eaux tranquilles, mais par la réunion et la soudure de glaces flottantes charriées pendant les jours de grands froids.

Dans les petits cours d'eau, tels que les ruisseaux de quelques mètres de large, la glace commence le long de chaque rive, empiète peu à peu et finit par atteindre le milieu.

Dans les grands cours d'eau, la glace formée sur les bords ne peut empieter aussi facilement, à cause du mouvement de la masse des eaux, et jamais elle ne parviendrait à résister et à s'étendre jusqu'à couvrir entièrement le fleuve. Mais il se forme de grandes plaques de glace *au fond* du fleuve, et ces plaques, irrégulières, detachées, remontent bientôt à la surface en raison de leur moindre densité.

L'eau n'est pas disposée en couches successives d'inégale densité, dans les cours d'eau dont le mouvement donne incessamment naissance à des remous et à des chutes. L'eau la plus légère ne flotte pas alors constamment à la surface : les courants la précipitent dans la masse, qu'elle va refroidir, et qui bientôt se trouve avoir partout une égale température.

Tandis que dans une masse d'eau stagnante, le fond ne saurait

descendre au-dessous de 4°, dans cette même masse agitée la surface, le milieu, le fond peuvent être simultanément à zéro.

Lorsque cette uniformité de température existe, la congélation s'opère par le fond et non par la surface. Pourquoi? Voici la réponse d'Arago :

Pour hâter la formation des cristaux dans une dissolution saline, il suffit d'y introduire un corps pointu ou à surface inégale; c'est autour des aspérités de ce corps que les cristaux prennent principalement naissance et reçoivent de prompts accroissements. Tout le monde peut s'assurer qu'il en est de même des cristaux de glace, et que si le vase où l'on veut voir s'opérer la congélation présente une fente, une saillie, une solution de continuité quelconque, ces irrégularités deviendront autant de centres autour desquels les filaments d'eau solidifiée se grouperont de préférence.

Ce que nous venons de dire est précisément l'histoire de la congélation des rivières. La congélation s'opère sur le lit, où se trouvent des roches, des cailloux, des pans de bois, des herbes, etc.

Une autre circonstance qui semble pouvoir aussi jouer un certain rôle dans le phénomène, c'est le mouvement de l'eau. A la surface, ce mouvement est très-rapide, très-brusque; il doit donc mettre empêchement au groupement symétrique des aiguilles, à cet arrangement polaire sans lequel les cristaux, de quelque nature qu'ils soient, n'acquièrent ni régularité, ni solidité; il doit briser souvent les noyaux cristallins, même à l'état rudimentaire. Le mouvement, ce grand obstacle à la cristallisation, s'il existe au fond de l'eau comme à la surface, y est du moins très-atténué. On peut donc supposer que son action n'empêchera pas qu'à la longue une multitude de petits filaments ne se lient les uns aux autres confusément, et de manière à engendrer cette espèce de glace spongieuse.

La congélation des fleuves par la soudure des glaçons charriés est visible pour tout observateur un peu attentif. On a eu du reste à Paris, pendant le grand hiver de 1709, l'expérience que cette circonstance est nécessaire pour amener la congélation : la Seine ne gela pas; contre ce qui arrivait d'habitude en des temps moins rigoureux, la violence du froid glaça tout à coup et entièrement les petites rivières qui se déchargent dans la Seine, au-dessus de Paris; aussi ce fleuve charria peu, et le milieu de son courant resta toujours libre.

Les rivières ne commencent à se congeler que par une température d'environ —6°. Les grands fleuves exigent, pour être pris

d'un bord à l'autre, une température d'autant plus basse qu'ils sont plus rapides. A mesure que les rigueurs du froid se prolongent, l'épaisseur de la couche de glace formée s'accroît, et elle devient assez grande pour que des hommes ou des chariots puissent y passer, de telle sorte que le fait de porter des fardeaux est la preuve, presque la mesure de l'intensité de l'hiver. Il est donc intéressant de connaître l'épaisseur de la glace qui est nécessaire pour supporter des charges déterminées. On a reconnu qu'il faut 5 centimètres pour que la glace porte un homme, 9 centimètres pour qu'un cavalier y passe en sûreté; quand la glace atteint 13 centimètres, elle porte des pièces de huit placées sur des traîneaux; et quand son épaisseur s'accroît jusqu'à 20 centimètres, l'artillerie de campagne attelée peut y passer. Les plus lourdes voitures, une armée, une nombreuse foule sont en sûreté sur la glace dont l'épaisseur atteint 27 centimètres.

En 1797, la cavalerie française s'empara de la flotte hollandaise engagée sur le Texel, gelé. Dans les hivers très-rigoureux, la glace peut atteindre, sur les fleuves de Russie, une épaisseur de 1 mètre; jamais, en France, elle n'a dépassé $0^m,66$. Sa résistance est telle qu'en 1740 on construisit, à Pétersbourg, un élégant palais de glace de $16^m,88$ de longueur, $5^m,19$ de largeur et $6^m,49$ de hauteur; le poids du comble et des parties supérieures fut parfaitement supporté par le pied de l'édifice. Devant le bâtiment, on plaça six canons de glace avec leurs affûts de même matière; on les tira à boulet. Chaque pièce perça, à soixante pas, une planche de $0^m,054$ d'épaisseur. Les canons n'avaient guère que $0^m,108$ d'épaisseur; ils étaient chargés avec un quarteron de poudre; aucun d'eux n'éclata. La Néva avait fourni les matériaux de ce singulier édifice.

Nous avons dit que lorsque l'eau se congèle, elle augmente de volume; une conséquence et une preuve de cette dilatation, c'est la rupture des vases où elle est contenue, rupture qui se produit d'autant plus facilement que la congélation est plus rapide et le vase plus étroit par le haut. Huyghens, pour prouver combien est grand l'effet dû à la congélation, prit un canon de fer épais d'un doigt, rempli d'eau et bien fermé; il l'exposa à une forte gelée, et au bout de douze heures, le canon creva à deux endroits avec un grand bruit. Cette expérience se répète tous les jours dans les cours de physique, en abaissant la température par des moyens artificiels. Les académiciens del Cimento firent rompre par ce moyen plusieurs vases, et Musschenbroeck calcule que dans l'un de ces cas il a fallu un effort de 27 720 livres. A Québec, le major d'ar-

tillerie E. Williams remplit d'eau une bombe de 13 pouces de diamètre, puis il ferma le trou de fusée avec un bouchon de fer enfoncé à force. Il exposa la bombe à un froid énergique, l'eau gela, projeta le bouchon à plus de 400 pieds, et il sortit par le trou un cylindre de glace de 8 pouces de long. Dans une seconde expérience, le bouchon résista, mais la bombe se fendit, et une lame de glace sortit de la fente.

Il n'y a, d'après cela, rien que de très-naturel, à voir la gelée soulever les pavés des rues, crever les tuyaux des conduites d'eau. C'est alors, comme dit le proverbe, qu'*il gèle à pierre fendre*.

Les pierres dites gélives, qui se brisent par les temps de gelée, doivent cette propriété à leur porosité; l'eau s'introduit dans leurs pores, et, se congelant, brise son enveloppe. Certains végétaux périssent pendant l'hiver, parce que l'eau contenue dans leurs vaisseaux se congèle et, par son expansion, déchire les tissus. L'un des exemples les plus désastreux de cette action nous est fourni par les pommes de terre, cet aliment devenu si général, et auquel la gelée fait éprouver une altération assez profonde pour modifier sa constitution physique. On sait qu'elle contracte par là un goût extrêmement désagréable qui les fait refuser même par les animaux, et qu'il est à peu près impossible d'en retirer la fécule après le dégel, quoique la composition chimique reste la même.

Complétons ce chapitre par une revue générale des *hivers les plus rigoureux*.

Il est difficile de décider à quel degré du thermomètre il convient de limiter la définition du froid rigoureux. Nous sommes généralement portés à juger le froid que nous ressentons nous-mêmes plus sévèrement que celui qui a sévi sur nos pères, et, lorsque la température descend seulement à 10 degrés au-dessous de zéro, par exemple, nous sommes tout disposés à croire que jamais pareils frimas n'ont glacé la France. Or, nous ne considérerons ici comme hivers rigoureux que ceux dont le froid est assez intense et assez long pour geler, faire prendre certaines sections des grands fleuves, tels que la Seine, la Saône et le Rhin; pour solidifier le vin, pour détruire le tissu de certains arbres, et avoir de graves conséquences sur le règne végétal comme sur le règne animal.

Voici, parmi les hivers mémorables, ceux qui ont été les plus rudes depuis cent ans. Notons d'abord que les plus rudes hivers des siècles passés ont été ceux de 1544, 1608 et 1709, année pendant

d'un bord à l'autre, un ... ervatoire de Paris descendit à
sont plus rapides ... ente ensuite comme exceptionnelle
gent, l'épai ... qui la marquèrent. Le Tibre, le Rhin, la
vient asse ... le Rhône lui-même, si rapide, furent pris presque
y passe ...
preu ...
tére ...
p ...



Fig. 127. — L'hiver. — La Seine charie.

entièrement. A Paris le vin gela dans les caves et les tonneaux se brisèrent. On entendait dans les bois les arbres se fendre et éclater avec bruit. Des voyageurs moururent de froid sur les routes et restèrent ensevelis dans le linceul de la neige partout répandue.

Après 1776, nous arrivons à l'hiver de 1788-1789, précurseur de la Révolution. Cet hiver a été un des plus rigoureux et des plus longs qui aient sévi dans toute l'Europe. A Paris, le froid a commencé le 25 novembre, et dura, sauf une interruption de la gelée pendant un jour (le 25 décembre), 50 jours consécutifs; le dégel eut lieu à partir du 13 janvier; on mesura une épaisseur de neige de $0^m,65$. Sur le grand canal de Versailles, dans les étangs et sur plusieurs rivières, la glace atteignit jusqu'à $0^m,60$ d'épaisseur. L'eau gela aussi dans plusieurs puits très-profonds; le vin se congela dans les caves. La Seine commença à prendre dès le 26 novembre 1788; durant plusieurs jours, son cours fut interrompu, et la débâcle n'eut

lieu que vers le 20 janvier. La plus basse température observée à Paris fut, le 31 décembre, de —21°,8. Le froid n'a pas été moins fort dans les autres parties de la France et dans toute l'Europe. Le Rhône fut complétement pris à Lyon; la Garonne gela à Toulouse; à Marseille, les bords du bassin furent couverts de glace. Sur les côtes de l'Océan, la mer gela dans une étendue de plusieurs lieues. La glace, sur le Rhin, fut si épaisse, que des voitures chargées purent traverser ce fleuve. L'Elbe fut entièrement couvert de glaces et porta des chariots de transport. Le port d'Ostende fut gelé assez fortement pour qu'on pût traverser la glace à pied et à cheval; la mer a été prise jusqu'à quatre lieues de distance des fortifications extérieures de cette place, dont aucun navire ne pouvait approcher. La Tamise fut gelée jusqu'à Gravesand, à six lieues plus bas que Londres; pendant les fêtes de Noël et le commencement de janvier, à Londres et aux environs, le fleuve fut couvert de boutiques.

Voici les plus basses températures observées en divers lieux :

Bâle (Suisse), le 18 décembre	—37°5
Brême (Allemagne), le 16 décembre	—35 6
Saint-Albans (Angleterre), le 31 décembre	—33 8
Varsovie (Pologne), le 18 décembre	—32 5
Dresde (Allemagne), le 17 décembre	—32 1
Eosberg (Norvége), le 29 décembre	—31 3
Saint-Pétersbourg, le 12 décembre	—30 6
Berlin (Prusse), le 28 décembre	—28 8
Strasbourg, le 31 décembre	—26 3
Tours, —	—25 0
Lons-le-Saunier, —	—24 0
Troyes, —	—23 8
Orléans, —	—22 5
Lyon, —	—21 9
Rouen, le 30 décembre	—21 8
Paris, le 31 décembre	—21 8
Grenoble, —	—21 2
Angoulême, —	—18 7
Marseille, —	—17 0

Le froid de cet hiver a sévi cruellement sur les hommes et les animaux; les végétaux furent aussi atteints d'une manière grave. Dans le pays toulousain, le pain gela dans presque tous les ménages: on ne pouvait le couper qu'après l'avoir exposé au feu. Plusieurs voyageurs périrent dans les neiges; à Lemberg, en Gallicie, trente-sept personnes furent trouvées mortes de froid en trois jours à la fin de décembre. Les oiseaux qui habitent ordinairement le nord se montrèrent dans plusieurs provinces de la France. Les poissons périrent dans presque tous les étangs à cause de la profondeur qu'atteignit la glace.

1794-1795.— Cet hiver a été remarquablement long et rigoureux dans toute l'Europe. A Paris, on compte 42 jours consécutifs de gelée; le 25 janvier eut lieu le plus grand froid qui ait jamais été observé; le thermomètre descendit à — 23°,5 A Londres, le minimum de température eut lieu le même jour, et fut de — 13°,3; à minuit, sur les bords du Rhône, près de Genève, de — 14°. Le Mein, l'Escaut, le Rhin, la Seine furent gelés au point que des voitures et des corps d'armée les traversèrent en plusieurs endroits. La Tamise fut prise dans les premiers jours de janvier, aux environs de White-Hall, malgré la hauteur de la marée. Pichegru envoya, vers le 20 janvier, dans le Nord-Hollande, des détachements de cavalerie et

d'artillerie légère, avec *ordre à la cavalerie* de traverser le Texel, de s'approcher et *de s'emparer des vaisseaux* de guerre hollandais surpris à l'ancre par le froid. Les cavaliers français traversèrent au galop les plaines de glace, arrivèrent près des vaisseaux, les sommèrent de se rendre, s'en emparèrent sans combat et firent prisonnière l'armée navale !

1798-1799. — Le froid a été rigoureux durant cet hiver dans toute l'Europe. A Paris, on compte 32 jours consécutifs de gelée, et la Seine a été prise complétement du 29 décembre jusqu'au 19 janvier, du pont de la Tournelle au delà du pont Royal, mais sans pouvoir porter des piétons. La température la plus basse observée fut, le 10 décembre 1798, de — 17°,6. Un aigle des Alpes fut tué à Chaillot. La Meuse, l'Elbe, le Rhin furent gelés plus solidement que la Seine. On traversa la Meuse en voiture; à la Haye et à Rotterdam, des boutiques de marchands et toutes sortes de spectacles furent établis sur le fleuve. Un régiment de dragons, partant de Mayence, traversa le Rhin sur la glace au lieu de passer sur le pont de Cassel qu'on avait été obligé de lever.

1812-1813. — Cet hiver est à jamais mémorable par les terribles désastres de la retraite de l'armée française à travers les plus rudes frimas de la Russie, après la prise et l'incendie de Moscou. Le froid commença à sévir de bonne heure dans toute l'Europe. Partout la température la plus basse, non-seulement de l'hiver mais des deux années 1812 et 1813, est arrivée en décembre 1812. Les premières neiges tombèrent à Moscou le 13 octobre; la retraite de l'armée commença le 18. Napoléon sortit de la capitale de l'empire moscovite le 19, et l'évacuation complète de la ville eut lieu le 23. L'armée se mit en marche sur Smolensk, sans que la neige eût cessé de tomber. Les froids prirent une rigueur extrême à partir du 7 novembre; le 9, le thermomètre marqua —15°. Le 17 novembre, la température descendit à —26°,2, d'après Larrey, qui portait un thermomètre suspendu à sa boutonnière. Le valeureux corps d'armée du maréchal Ney échappa à l'armée russe qui l'enveloppait de toutes parts, dit Arago, en traversant, durant la nuit du 18 au 19 novembre, le Dniéper gelé. La veille, un corps d'armée russe traversa, avec son artillerie, la Dwina sur la glace. Mais le froid faiblit, et un dégel survint le 24, sans toutefois persister; de telle sorte que les 26, 27, 28 et 29, lors du long et tragique passage de la Bérézina, l'eau charriait de nombreux glaçons sans présenter nulle part un passage pour les hommes. Bientôt la rigueur du froid reprit énergiquement; le thermomètre redescendit à 25° le 30 novembre, à 30 degrés le 3 décembre, et à 37° le 6 décembre à Molodeczno, le lendemain du jour où Napoléon partit de Smorgoni et quitta l'armée après la rédaction du 29e bulletin, qui apprit à la France une partie des désastres de cette terrible campagne.

Les effets du froid rigoureux auquel les soldats, mal vêtus, furent tout à coup soumis, doivent être signalés ici comme un exemple de l'action des températures très-basses sur les êtres animés. D'abord, les neiges épaisses du commencement de novembre assaillirent l'armée : « Pendant que le soldat s'efforce, dit M. de Ségur, pour se faire jour au travers de ces tourbillons de vent et de frimas, les flocons de neige, poussés par la tempête, s'amoncellent et s'arrêtent dans toutes les cavités; leur surface cache des profondeurs inconnues qui s'ouvrent profondément sous nos pas. Là, le soldat s'engouffre, et les plus faibles s'abandonnant, y restent ensevelis. Ceux qui suivent se détournent, mais la tourmente leur fouette au visage la neige du ciel et celle qu'elle enlève à la terre; leurs habits, mouillés, se gèlent sur eux; cette enveloppe de glace saisit leur corps et raidit tous leurs membres. Un vent aigu et violent coupe leur respiration; il s'en empare au moment où ils l'exhalent et en forme des glaçons qui pendent par leur barbe autour de leur bouche. Les malheureux se traînent encore en grelottant, jusqu'à ce que

la neige, qui s'attache sous leurs pieds en forme de pierres, quelque débris, une branche ou le corps de l'un de leurs compagnons, les fasse trébucher et tomber.

« Là, ils gémissent en vain; bientôt la neige les couvre; de légères éminences les font reconnaître : voilà leur sépulture! La route est toute parsemée de ces ondulations comme un champ funéraire. Les plus intrépides ou les plus indifférents s'affectent : ils passent rapidement en détournant leurs regards. Mais devant eux, autour d'eux, tout est neige ; leur vue se perd dans cette immense et triste uniformité, l'imagination s'étonne : c'est comme un grand linceul dont la nature enveloppe l'armée! Les seuls objets qui s'en détachent, ce sont de sombres sapins, des arbres de tombeaux avec leur funèbre verdure, et la gigantesque immobilité de leurs noires tiges, et leur grande tristesse qui complète cet aspect désolé d'un deuil général, d'une nature sauvage et d'une armée mourante au milieu d'une nature morte. Tout, jusqu'à leurs armes naguère encore offensives, mais depuis seulement défensives, se tourna alors contre eux-mêmes. Elles parurent à leurs bras engourdis un poids insupportable; dans les chutes fréquentes qu'ils faisaient, elles s'échappaient de leurs mains, elles se brisaient ou se perdaient dans la neige. S'ils se relevaient, c'était sans elles, car ils ne les jetèrent point : la faim et le froid les leur arrachèrent. Les doigts gelaient sur le fusil, qu'ils tenaient encore, et qui leur ôtait le mouvement nécessaire pour y entretenir un reste de chaleur et de vie. »

Un chirurgien-major de la grande armée, M. René Bourgeois, a décrit en ces termes les souffrances atroces causées par ces froids :

« Les chaussures des soldats, brûlées par les neiges, furent bientôt usées. On était obligé de s'entourer les pieds de chiffons, de morceaux de couvertures, de peaux d'animaux qu'on attachait avec des ficelles. Le froid gelait vite les parties atteintes. Ce qui rendait ses ravages encore plus funestes, c'est qu'en arrivant près des feux, on y plongeait imprudemment les parties refroidies qui, ayant perdu leur sensibilité, n'étaient plus susceptibles de ressentir l'impression de la chaleur qui les consumait. Bien loin d'éprouver le soulagement que l'on recherchait, l'action subite du feu donnait lieu à de vives douleurs et déterminait promptement la gangrène.

« Toutes les facultés étaient anéanties chez la plupart des soldats; la certitude de la mort les empêchait de faire aucun effort pour s'y soustraire. Un grand nombre étaient dans un véritable état de démence, le regard fixe, l'œil hagard; ils marchaient comme des automates, dans le plus profond silence. Les outrages, les coups même étaient incapables de les rappeler à eux-mêmes. Pour ne pas succomber, il ne fallait rien moins qu'un exercice continuel qui tînt constamment le corps dans un état d'effervescence et répartît la chaleur naturelle dans toutes les parties. Si, abattu par la fatigue, vous aviez le malheur de vous abandonner au sommeil, les forces vitales n'opposant plus qu'une faible résistance, l'équilibre s'établissait bientôt entre vous et les corps environnants, et il fallait bien peu de temps pour que, d'après l'acception rigoureuse du langage physique, votre sang se glaçât dans vos veines. Quand, affaissé sous le poids des privations antérieures, on ne pouvait surmonter le besoin du sommeil, alors la congélation s'étendait à tout le corps, et l'on passait, sans s'en apercevoir, de cet engourdissement léthargique à la mort....

« Les jeunes soldats qui venaient de rejoindre la grande armée, frappés tout à coup par l'action subite de ce froid, succombèrent bientôt à l'excès des souffrances. Ceux-ci ne périssaient ni d'épuisement ni d'inaction, et le froid seul les frappait de mort. On les voyait d'abord chanceler pendant quelques instants et marcher d'un pas mal affermi, comme des ivres. Il semblait que tout leur sang fût refoulé vers leur tête, tant ils avaient la figure rouge et gonflée. Bientôt ils étaient entièrement saisis et perdaient toutes leurs forces. Leurs membres étaient comme

paralysés; ne pouvant plus soutenir leurs bras, ils les abandonnaient à leur propre poids et les laissaient aller; leurs fusils s'échappaient alors de leurs mains, leurs jambes fléchissaient sous eux, et ils tombaient enfin, après s'être épuisés en efforts impuissants.... Au moment où ils se sentaient défaillir, des larmes mouillaient leurs paupières, ils paraissaient avoir perdu entièrement le sens, et ils avaient un air étonné et hagard; mais l'ensemble de leur physionomie, la contraction forcée des muscles de la face témoignaient des cruelles douleurs qu'ils ressentaient. Les yeux étaient extrêmement rouges, et le sang, transsudant à travers les pores, s'égouttait par gouttes au dehors de la membrane qui recouvre le dedans des paupières. »

L'eau glacée dans laquelle durent plus d'une fois se plonger nombre de soldats pour effectuer le passage de torrents ou de rivières non congelés complétement, produisit des maladies particulières dont l'issue fut presque constamment mortelle. C'est ainsi que mourut, à Kœnisberg, à la fin de décembre, l'illustre général Éblé, qui avait sauvé les derniers débris de l'armée au passage de la Bérésina; des cent pontonniers qui, à sa voix, s'étaient plongés dans l'eau pour construire les ponts, il en restait douze; des trois cents autres qui les secondèrent dans ce travail héroïque, il en restait un quart à peine....

Pendant que 450 000 hommes mouraient ainsi, Napoléon revenait à Paris en chaude voiture, et déclarait qu'il ne s'était jamais si bien porté.

Mais oublions ces malheureux souvenirs, et continuons notre liste des hivers mémorables.

1819-1820. — Le froid fut extrêmement vif cet hiver dans toute l'Europe, quoique ses rigueurs extrêmes n'aient pas duré longtemps. A Paris, on compta 47 jours de gelée, dont 19 consécutifs, du 30 décembre 1818 au 17 janvier 1819. Le minimum de la température fut, le 11 janvier, de — 14°,3. La Seine fut entièrement prise du 12 au 19 janvier. La Saône, le Rhône, le Rhin, le Danube, la Garonne, la Tamise, les lagunes de Venise, le Sund furent congelés de manière qu'on put se promener sur la glace. Les plus basses températures observées en différentes villes sont les suivantes :

Saint-Pétersbourg, le 18 janvier........	—32°0
Berlin, le 10 janvier....................	—24 4
Maëstricht, le 10 janvier..............	—19 3
Strasbourg, le 15 janvier...............	—18 8
Commercy (Meuse), le 12 janvier........	—18 8
Marseille, le 12 janvier.................	—17 5
Metz, le 10 janvier......................	—16 3
Mons, le 11 et le 15 janvier............	—15 6
Paris, le 11 janvier.....................	—14 3

En France, la vivacité du froid fut annoncée par le passage sur le littoral du Pas-de-Calais d'un grand nombre d'oiseaux venant des régions les plus boréales, par des cygnes et des canards sauvages à plumages variés. Plusieurs voyageurs périrent de froid, notamment un cultivateur du Pas-de-Calais, près d'Arras; un garde forestier près de Nogent, dans la Haute-Marne; une femme et un homme dans la Côte-d'Or; deux voyageurs sur la route de Breuil, dans le département de la Meuse; une femme et un enfant sur la route d'Étain à Verdun; six individus dans l'arrondissement de Château-Salins (Meurthe); deux petits Savoyards sur la route de Clermont à Châlon-sur-Saône. Dans des expériences faites à l'école d'artillerie de Metz, le 10 janvier, pour essayer la résistance du fer à de basses températures, plusieurs soldats eurent les mains ou les oreilles gelées.

30. — Cet hiver a été le plus précoce et le plus long des hivers de la pre- du dix-neuvième siècle; sa continuité a été particulièrement funeste dans les contrées méridionales. Ses rigueurs, sans être extrêmes, toute l'Europe : un grand nombre de fleuves furent congelés, et mpagné de désastreuses débâcles et de grandes inondations; s et d'animaux périrent; les travaux des champs demeurèrent ndus. Voici les principales températures observées :

Saint-Pétersbourg, le 19 décembre.....	—32°5
Mulhouse, le 3 février..................	—28 1
Bâle, le 3 février.........	—27 0
Nancy, le 3 février.....	—26 3
Épinal, le 3 février..............	—25 6
Aurillac, le 27 décembre................	—23 6
Strasbourg, le 3 février................	—23 4
Berlin, le 23 décembre............	—21 0
Metz, le 31 janvier.....................	—20 5
Pau, le 27 décembre..................	—17. 5
Paris, le 17 janvier....................	—17 2

En Suisse, l'hiver fut excessif sur les points élevés. A Fribourg, on compta 118 jours de gelée, sur lesquels il y en eut 69 de consécutifs; le minimum fut de — 18°,5. Dans les plaines, à Yverdun, entre autres, on éprouva un effet très-intense de rayonnement; le thermomètre descendit en quelques heures de 10° à 20°. On vit aussi tomber cette neige dite *polaire*, à cristallisation peu serrée, particulière aux températures très-basses.

La longue congélation de la Seine et sa débâcle excitèrent au plus haut point l'attention publique. La rivière demeura prise du 28 décembre au 26 janvier, c'est-à-dire durant 29 jours une première fois; puis, une seconde fois, du 5 au 10 février : 34 jours en tout, c'est-à-dire aussi longtemps qu'en 1763; elle fut prise au Havre dès le 27 décembre, et le 18 janvier on établit à Rouen une foire sur la glace. Le 25 janvier, après six jours de dégel, les glaces venues de Corbeil et de Melun s'arrêtèrent au pont de Choisy et y formèrent une muraille de 5 mètres de hauteur.

1840-1841. — Il y eut dans cet hiver, à Paris, 59 jours de gelée dont 27 consécutifs. Les froids commencèrent le 5 décembre et durèrent, avec une interruption du 1er au 3 janvier, jusqu'au 10 de ce mois. Il y eut une reprise de la gelée du 30 janvier au 10 février. Le thermomètre marqua encore —9°,2 le 3 février. Dès le 16 décembre, la Seine charria avec abondance, et l'une des arches du pont Royal fut obstruée; le soir du même jour, elle s'arrêta au pont d'Austerlitz, et elle fut prise du pont Marie jusqu'à Charenton; le lendemain, elle fut gelée au pont Notre-Dame, et le 18 on la traversa entre Bercy et la Gare. En plusieurs endroits, les glaçons amoncelés n'avaient pas moins de 2 mètres d'épaisseur.

Le 15 décembre 1840 eut lieu à Paris l'entrée solennelle, par l'Arc de triomphe de l'Étoile, des cendres de l'empereur Napoléon, rapportées de Sainte-Hélène. Le thermomètre avait marqué ce jour-là, dans les lieux exposés au rayonnement nocturne, —14°. Une multitude innombrable de personnes, les légions de la garde nationale de Paris et des communes voisines, des régiments nombreux stationnèrent depuis le matin jusqu'à deux heures de l'après-midi dans les Champs-Élysées. Tout le monde souffrit cruellement du froid. Des gardes nationaux, des ouvriers crurent se réchauffer en buvant de l'eau-de-vie, et, saisis par le froid, périrent de congestion immédiate. D'autres individus furent victimes de leur curiosité : ayant envahi les arbres de l'avenue pour apercevoir le coup d'œil du

cortége, leurs extrémités engourdies par la gelée ne purent les y maintenir; ils tombèrent des branches et se tuèrent.

Voici les plus basses températures observées en divers lieux pendant cet hiver :

Mont Saint-Bernard, le 22 janvier.....	—23°3
Genève, le 10 janvier..................	—17 8
Metz, le 17 décembre.................	—15 3
Paris, le 17 décembre.................	—13 2
Paris, le 8 janvier.....................	—13 1

1853-1854. — Cet hiver a offert les caractères d'un hiver rigoureux des régions tempérées de l'Europe. Il s'étendit de novembre en mars, et amena des congélations nombreuses de rivières. Il y eut des froids intenses dans beaucoup de régions, et néanmoins son influence fut plutôt profitable que nuisible à l'agriculture.

Voici les plus basses températures observées en différents lieux :

Clermont, le 26 décembre..............	—20°0
Châlons-sur-Marne, le 26 décembre.....	—20 0
Lille, le 26 décembre.................	—18 0
Kehl, le 26 décembre..................	—17 6
Metz, le 27 décembre..................	—17 5
Bruxelles, le 26 décembre..............	—16 1
Lyon, le 30 décembre..................	—14 6
Paris, le 30 décembre..................	—14 0
Bordeaux, le 30 décembre..............	—10 0

L'hiver de l'année suivante, 1854-55, s'est également montré rigoureux, surtout dans la Russie méridionale, en Danemark, en Angleterre et en France. Il a été d'une longueur inaccoutumée. Les gelées ont commencé en octobre dans l'est de la France, et se sont prolongées jusqu'au 28 avril dans la même région. La Loire charrie le 17 janvier et s'arrête le 18. La Seine charrie le 19, mais n'a pas été arrêtée. Le Rhône charrie le 20; la Saône est arrêtée le même jour. Le Rhin est entièrement gelé à Manheim le 24, et on le traverse à pied.

Voici le tableau des plus basses températures observées :

Vendôme, le 20 janvier................	—18°0
Clermont, le 21 janvier.......	—17 0
Bruxelles, le 2 février..................	—16 7
Turin, le 24 janvier....................	—16 5
Metz, le 29 janvier.....................	—16 0
Strasbourg, le 29 janvier...............	—16 0
Montpellier, le 21 janvier...............	—16 0
Lille, le 2 février.......................	—13 8
Paris, le 21 janvier.....................	—11 3
Toulouse, le 20 janvier.................	—10 7

L'hiver de 1857-58 a offert le type d'un hiver d'une rigueur moyenne de la zone tempérée. La Seine a charrié à Paris le 5 janvier; le petit bras de la Cité a été couvert de glaces le 6. La Loire, le Cher, la Nièvre, le Rhône, la Saône, la Dordogne furent arrêtés en plusieurs endroits. Le Danube et les ports russes de la mer Noire furent gelés en janvier.

Les plus basses températures observées sont :

Le Puy, le 25 janvier....................	—14°4
Clermont, le 7 janvier..................	—14 0

Bourg, le 29 janvier...............	—12° 5
Vendôme, le 6 janvier................	—11 0
Lille, le 7 janvier.....................	—10 0
Paris, le 7 janvier.....................	— 9 0

L'hiver de 1864-65 a été plus rigoureux. La Seine a été prise à Paris et on la passait au pont des Arts. Les extrêmes de température ont été :

Haparanda, le 7 février................	—33° 4
Saint-Pétersbourg, le 9 février..........	—28 8
Riga, le 4 février.....................	—25 8
Berne, le 14 février....................	—15 0
Dunkerque, le 15 février...............	—12 0
Strasbourg, le 11 février...............	—110

Enfin, l'hiver de 1870-71 sera également classé parmi les hivers froids, à cause de la grande intensité des froids de décembre et janvier, malgré la température toute printanière de février, et aussi à cause de l'influence fatale de ces froids sur la mortalité publique à la fin de l'odieuse guerre qui vient de sévir. Le grand courant équatorial, qui souffle ordinairement jusqu'en Norvége, s'est arrêté cette année au Portugal et à l'Espagne; le vent dominant a été celui du nord. Le 5 décembre, on constate à Paris 6° au-dessous de zéro; le 8, on constate —6° à Montpellier. Une seconde période de froid sévit du 22 décembre au 5 janvier; à Paris, la Seine charrie et menace de se prendre entièrement; l'on observe —12° le 24, —16° à Montpellier le 31. Chacun sait qu'aux environs de Paris, plusieurs soldats en faction aux avant-postes, et un certain nombre de blessés ramassés quinze heures trop tard, ont été GELÉS. Du 9 au 15 janvier, une troisième période de froid montre, le 15, —8° à Paris, et —13° à Montpellier. Ce qu'il y a de plus curieux, c'est que le froid a été plus intense dans le midi que dans le nord de la France. A Bruxelles, les minima ont été —11°,6 en décembre et de —13°,2 en janvier. Il y a eu 40 jours de gelée à Montpellier, 42 à Paris, 47 à Bruxelles pour ces deux mois. Enfin, la moyenne de l'hiver (décembre, janvier, février) est de 1°,83 à Paris, tandis que la moyenne générale est de 3°,26. Dans le nord de l'Europe, cet hiver a été également rigoureux, quoique le froid ait sévi à des dates différentes des précédentes. On a observé —22° à Copenhague le 12 février.

Dans les documents que M. Renou me communique pour la France je relève un minimum de —23° à Périgueux et de —25° à Moulins! Dans les documents que M. Glaisher m'envoie de l'Observatoire de Greenwich, je vois qu'il considère également les mois de décembre 1870 et janvier 1871 comme ayant le caractère de rigueur des hivers mémorables.

Pour que la Seine gèle à Paris, il faut un froid d'environ 9 degrés, durant plusieurs jours de suite. Nous avons vu plus haut comment le fait se produit. Depuis le commencement du siècle, le fleuve a été pris entièrement onze fois : janvier 1803; décembre 1812; janvier 1820, 1821, 1823, 1829, 1830 et 1838; décembre 1840 ; janvier 1854 et janvier 1865.

M. Renou a remarqué que les plus grands hivers paraissent revenir à peu près tous les quarante ans : 1709-1749 (moins rigoureux) — 1789-1830-1870.

Voici les températures les plus basses observées en France depuis qu'on les étudie scientifiquement par le thermomètre. Elles

sont inscrites, comme la liste précédente des températures les plus élevées, en allant du nord au sud. J'ai relevé toutes celles qui ont atteint au moins 20 degrés de froid, et je n'ai relevé que celles-là, excepté pour Paris, où il y a plusieurs comparaisons.

Lieux.	Latitude.	Longitude.	Altitude.	Date.	Minimum.
Douai	50°22	0°44'	24m	28 janvier 1776	—20°6
Arras	50 17	0 26	67	30 décembre 1788	—23 4
Amiens	49 53	0 2	36	27 février 1776	—20 3
Saint-Quentin	49 50	0 57	104	28 janvier 1776	—20 6
Vervins	49 55	1 34	175	31 décembre 1788	—21 9
Montdidier	49 39	0 14	99	29 janvier 1776	—22 5
Rouen	49 26	1 15	37	30 décembre 1788	—21 8
Clermont (Oise)	49 23	0 5	86	26 décembre 1853	—20 0
Les Mesneux	49 13	1 37	85	19 janvier 1855	—20 2
Metz	49 7	3 50	182	31 janvier 1830	—20 5
Montmorency	49 0	0 2	183	janvier 1795	—20 0
Châlons-sur-Marne	48 57	2 1	82	décembre 1788	—20 6
				26 décembre 1853	—20 0
Goersdorff	48 57	5 26	228	27 décembre 1853	—21 8
Paris	48 50	0 0	65	25 janvier 1795	—23 5
				13 janvier 1709	—23 1
				31 décembre 1788	—21 8
				6 février 1665	—21 2
				22 janvier 1716	—19 7
				29 janvier 1776 et 30 décemb. 1783	—19 1
				20 janvier 1838	—19 0
				17 janvier 1830	—17 2
Hagueneau	48 48	5 25	65	décembre 1788	—21 5
L'Aigle	48 43	2 0	136	30 décembre 1788	—21 8
Nancy	48 42	3 51	200	1er février 1776	—22 6
				3 février 1830	—26 3
Strasbourg	48 35N	5 25	144	31 décembre 1788	—26 3
				3 février 1830	—23 4
Étampes	48 26	0 10	127	31 décembre 1788	—21 9
Mayenne	48 18	2 57	102	décembre 1788	—20
Troyes	48 18	1 45	110	31 décembre 1788	—23
Saint-Dié	48 17	4 37	343	31 décembre 1788	—26
Épinal	48 10	4 7	341	3 février 1830	—25 6
Colmar	48 5	5 1	195	19 décembre 1788	—25 6
Neufbrissac	48 0	5 0	198	18 décembre 1788	—30 2
Orléans	47 54	0 26	123	31 décembre 1788	—22 5
Mulhouse	47 49	5 0	229	janvier 1784	—22 4
				3 février 1830	—28 1
Beaugency	47 46	0 46	100	31 décembre 1788	—22 5
Tours	47 24	1 39	55	31 décembre 1788	—25 0
Dijon	47 19	2 42	246	1er février 1776	—20 0
Chinon	47 10	2 6	82	décembre 1788	—23 8
Bourges	47 5	0 4	156	janvier 1789	—23 0
Pontarlier	46 54	4 1	838	31 décembre 1788	—23 8
				14 décembre 1846	—31 3

Lieux.	Latitude.	Longitude.	Altitude.	Date.	Minimum.
Lons-le-Saulnier..	46°40	3°13	258m	31 décembre 1788	—24°0
				16 janvier 1838	—24 5
Poitiers..........	46 35	1 60	118	décembre 1788	—20 0
Moulins..........	46 34	1 0	227	31 décembre 1788	—22 6
				22 décembre 1870	—25 0
Roanne..........	46 2	1 44	286	31 décembre 1788	—20 6
Limoges..........	45 50	1 5	287	décembre 1788	—23 7
Lyon............	45 46	2 29	295	31 décembre 1788	—21 9
				16 janvier 1838	—20 0
Grande-Chartreuse	45 48	3 23	2030	30 décembre 1788	—26 3
Grenoble.........	45 11	3 24	213	février 1776	—21 6
Périgueux........	45 11	1 36	98	décembre 1870	—23 0
Aurillac..........	44 56	0 6	622	27 décembre 1829	—23 6

Les froids les plus excessifs que l'on ait ressentis jusqu'à ce jour sont de 31°3 pour la France; de 20°,6 pour les Iles Britanniques; de 24°,4 pour la Hollande et la Belgique; de 55° pour le Danemark, la Suède et la Norvége; de 43°,7 pour la Russie; de 35°,6 pour l'Allemagne; de 17°,8 pour l'Italie; de 12° pour l'Espagne et le Portugal. Quant aux autres pays, qui n'appartiennent pas à l'Europe, il faudrait de plus nombreuses observations pour qu'on pût dire avec quelque certitude les plus forts degrés de froid qu'on est exposé à y subir. — Il est constant néanmoins qu'on a observé à Fort-Réliance, dans l'Amérique anglaise, un froid de 56°,7, et près de Semipalatinsk un froid de 58°. Le mercure se congèle à —40°. Il y a des points habités sur le globe où il reste en cet état plusieurs mois de l'année (par exemple l'île Melville). Le capitaine Parry affirme du reste qu'un homme bien vêtu peut se promener sans inconvénient à l'air libre par 48° au-dessous de zéro, s'il n'y a pas de vent; dans le cas contraire, la peau est rapidement brûlée. Le mercure gelé a l'aspect du plomb; mais il est moins dur, plus fragile et moins cohérent. Au toucher, il brûle comme un morceau de fer rouge. On peut en faire de petites statuettes qui se fondent quand la température descend au-dessous de —40°.

Tels sont les plus grands froids éprouvés. Si l'on se reporte aux plus grandes chaleurs notées au chapitre précédent (75° à la surface du sol africain), on conclut que les extrêmes de température sur ce globe peuvent atteindre une échelle de 133 *degrés!*

Nous allons, dans le chapitre suivant, apprécier la théorie des climats dans son caractère général, saisir la distribution de la ch leur à la surface du globe, et relever l'état moyen comme les extrêmes de température observés sur les différents points de la planète.

L'occupation la plus agréable que l'homme puisse se donner, c'est certainement l'*étude de la nature*. Le travail manuel a besoin d'un complément : l'activité de l'intelligence; ce complément, nul sujet ne peut mieux l'offrir que l'étude de la nature. La politique, qui n'a guère été jusqu'à présent qu'un tissu de duperies mutuelles et de crimes, n'est pas digne de la contemplation de l'âme, et ne deviendra une science qu'à l'époque où les hommes posséderont

les notions élémentaires de la réalité naturelle, sauront ce qu'ils sont, quelle planète ils habitent, et cesseront d'avoir les yeux fermés par l'ignorance brutale dans laquelle ils gisent encore. L'histoire peut fixer l'attention de l'homme; mais elle existe à peine, ne consiste encore qu'en une série de guerres renaissantes, et n'est qu'une ride à la surface de l'océan des âges. Ce qui peut légitimement et utilement occuper les instants précieux de notre esprit libre, c'est la grande, la vraie étude de la nature, source inépuisable d'émotions pures, et dont chaque branche offre à notre intelligence un aliment délectable et salutaire.

Parmi les diverses branches de l'étude de la nature, la météorologie restera toujours celle qui nous intéressera le plus facilement et le plus constamment; car c'est de l'Atmosphère que dépendent les diverses circonstances de notre vie physique et de son entretien. Le météorologiste, l'ami de la nature, qui a appris à connaître, comme nous essayons de le faire dans cet ouvrage, l'ensemble des lois qui régissent la circulation de la vie ici-bas, trouve chaque jour un nouveau sujet d'intérêt dans l'observation du temps. Non-seulement les phénomènes généraux des saisons sont pour lui un spectacle désormais raisonné et lumineux; non-seulement il voit à travers les nuages, les tempêtes, les orages, quelles sont les forces qui tiennent les fils de ce mouvement perpétuel; mais encore les variations quotidiennes de la température et les faits les plus ordinaires l'intéressent constamment et sans fatigue. C'est un si grand bonheur de *savoir* où l'on est, dans ce grand univers, de se sentir chez soi, de bien connaître sa maison, et de mener une vie intellectuelle, au lieu de rester dans la fange obscure dans laquelle la masse de l'humanité traîne sa massive carapace.

J'ajouterai même que celui qui s'intéresse ainsi scientifiquement à l'observation de la nature se met au-dessus des sensations physiques qui sont pour d'autres des causes de souffrances. Il y trouve constamment de l'intérêt sur tout, et quand les extrêmes de la température se manifestent, il constate avec plaisir ces extrêmes eux-mêmes. Dans les plus grandes chaleurs de l'été, le météorologiste n'a *jamais assez chaud*, car, le thermomètre fût-il à 100 degrés de chaleur, il voudrait le voir à 101°, pour la curiosité de l'exception. Dans les températures les plus glaciales, il n'a *jamais assez froid*, car si le thermomètre est descendu jusqu'à 30 degrés, il serait encore plus satisfait de voir le mercure gelé lui-même. Ainsi, il est toujours heureux.

CHAPITRE VII.

LES CLIMATS.

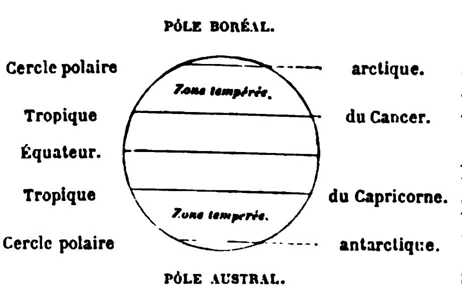
DISTRIBUTION DE LA TEMPÉRATURE SUR LE GLOBE. — LIGNES ISOTHERMES.

L'ÉQUATEUR. — LES TROPIQUES. — LES RÉGIONS TEMPÉRÉES. — LES PÔLES.
LE CLIMAT DE LA FRANCE.

Si l'on trace sur un globe terrestre deux lignes parallèles à l'équateur, situées dans chaque hémisphère à 23° 28′ de latitude, on marque ainsi deux cercles entre lesquels on voit passer le soleil au zénith à certaines époques de l'année : ce sont les *tropiques*. Celui de l'hémisphère boréal est nommé tropique du Cancer, parce que, au solstice d'été, le soleil passe à son zénith et se trouve dans le signe zodiacal du Cancer. Celui de l'hémisphère austral se nomme tropique du Capricorne, parce que le soleil passe à son zénith au solstice d'hiver dans le signe zodiacal du Capricorne. La zone, renfermée entre ces deux cercles, est la plus chaude du globe, puisqu'elle renferme les lieux sur lesquels le soleil s'élève à sa plus grande hauteur; elle prend le nom de zone torride ou intertropicale.

Si l'on trace sur ce même globe terrestre deux autres cercles, éloignés du pôle de 23° 28′, c'est-à-dire à 66° 32′ de l'équateur, on marque les points au-dessous desquels le soleil peut rester pendant plusieurs jours, et au-dessus desquels il reste à son élévation minimum : ce sont les cercles *polaires*. Pendant une moitié de l'année, le soleil s'élève en spirale au-dessus d'eux jusqu'à la hauteur de 23° 28′, et, pendant l'autre moitié, s'abaisse de la même quantité.

Entre ces deux zones est la *zone tempérée*, pour laquelle le soleil se lève et se couche chaque jour, sans jamais monter jusqu'au zénith, atteignant une hauteur croissante et donnant une durée de jours de plus en plus longue pour notre hémisphère du solstice de décembre au solstice de juin, auxquelles correspond une marche inverse pour l'autre hémisphère.



Les deux zones glaciales forment les 0,082 de la surface de la terre; les deux zones tempérées en représentent ensemble les 0,520; enfin, la zone torride, composée des deux régions comprises entre les tropiques et l'équateur, est à la surface entière de notre planète comme 0,398 est à 1.

La durée des jours les plus longs et des jours les plus courts, sous les diverses latitudes de notre hémisphère, depuis l'équateur jusqu'aux cercles polaires, nous donne la succession suivante :

Latitudes.	Exemples.	Durée du jour le plus long.	Durée du jour le plus court.
0°	(Quito)	12ʰ 0ᵐ	12ʰ 0ᵐ
5	(Bogota)	12 17	11 43
10	(Gondar, Madras)	12 35	11 25
15	(Saint-Louis)	12 53	11 7
20	(Mexico-Bombay)	13 13	10 47
25	(Canton)	13 34	10 26
30	(Le Caire)	13 56	10 4
35	(Alger)	14 22	9 35
40	(Madrid, Naples)	14 51	9 9
45	(Bordeaux, Turin)	15 26	8 34
50	(Dieppe, Francfort)	16 9	7 51
55	(Édimbourg, Copenhague)	17 7	6 53
60	(Pétersbourg, Christiania)	18 30	5 30
65	(Arkhangel)	21 9	2 51
66 32′	(Cercle polaire)	24 0	0 0

Il en est de même dans l'hémisphère austral, naturellement. Au delà des cercles polaires, la durée du jour varie de 0 à 24 heures dans la portion de l'année pendant laquelle le soleil se lève ou se couche. Le nombre de jours pendant lequel l'astre radieux reste constamment au-dessus ou constamment au-dessous de l'horizon sous les diverses latitudes, depuis 66° 32′ jusqu'à 90°,

est donné par le tableau suivant dans lequel il est rappelé que les phénomènes sont inverses dans les deux zones glaciales :

Latitudes.	Le soleil ne se couche pas dans l'hémisphère boréal, ne se lève pas dans l'hémisphère austral pendant environ :	Le soleil ne se lève pas dans l'hémisphère austral, ne se couche pas dans l'hémisphère boréal pendant environ :
66° 32′	1j	1j
70	65	60
75	103	97
80	134	127
85	161	153
90	186	179

Dans cette théorie des climats, nous avons supposé le soleil réduit à son centre; nous avons, en outre, négligé les phénomènes de l'aurore et du crépuscule produits par la réfraction de la lumière et de la chaleur. Comme le diamètre de l'astre est de 32′, il faudrait reculer de 16′ la latitude où il disparaîtrait toutentier. La réfraction l'élevant, de plus, de 33′ à l'horizon, il faudrait encore éloigner de cette quantité les cercles polaires absolus. Enfin, la nuit n'est entière que lorsque le soleil est abaissé de 18° au-dessous de l'horizon; il y aurait donc encore à tenir compte de cette circonstance, d'où il résulte que, vers les pôles, le jour absolu ne cesse que rarement, et que la nuit complète y est presque inconnue.

Les saisons sont inverses dans les deux hémisphères, comme nous l'avons dit; elles ne sont pas d'ailleurs autre chose que les intervalles de temps que la Terre emploie à parcourir les quatre parties de son orbite comprises entre les équinoxes et les solstices. A cause de l'excentricité de l'orbite terrestre et en vertu de la loi des aires, les durées des saisons sont inégales; elles sont représentées par les nombres suivants qui montrent que le soleil reste, chaque année, environ huit jours de plus dans notre hémisphère boréal que dans l'hémisphère austral.

Automne (22 septembre-21 décembre)	89j	18h	35m
Hiver (21 décembre-21 mars)	89	0	2
Séjour du soleil dans l'hémisphère austral	178j	18h	37m
Printemps (21 mars-21 juin)	92	20	59
Été (21 juin-22 septembre)	93	14	13
Séjour du soleil dans l'hémisphère boréal	186	11	12

Le Soleil étant actuellement la source unique de la chaleur pour

la surface de la Terre, il en résulte que les pays les plus chauds sont ceux au-dessus desquels il reste le plus longtemps et darde ses rayons dans la direction la plus voisine de la verticale: c'est-à-dire les régions situées le long de l'équateur, et de chaque côté jusqu'aux tropiques. Aussi ces régions chaudes sont-elles désignées sous le nom générique de zone torride. A mesure que l'on remonte ensuite vers les pôles, on voit que le soleil s'élève moins haut, et que, pendant six mois, les nuits sont plus longues que les jours : ce sont les régions tempérées, où les saisons donnent beaucoup plus de variation aux productions de la nature, mais où la moyenne de la température annuelle va constamment en diminuant, suivant la diminution de la hauteur apparente du soleil à midi. Enfin, lorsqu'on a dépassé le 66e degré de latitude, on entre dans la calotte polaire glaciale, sur laquelle le soleil s'élève à peine aux plus beaux jours suffisamment pour fondre les glaces éternelles de ces régions mornes et silencieuses.

Je n'ai pas besoin de dire à mes lecteurs que le pôle *sud* est froid comme le pôle nord, malgré l'idée qui s'attache à cette direction pour notre hémisphère. On voit encore quelques poëtes voyager

« du pôle *brûlant* jusqu'au pôle *glacé;* »

mais de telles métaphores ne devraient plus être permises avec le progrès des lumières. L'équateur est au sud de notre hémisphère et les vents qui viennent de là sont chauds. L'équateur est au nord de l'autre hémisphère, et les vents qui lui en viennent sont également chauds, quoiqu'ils viennent du nord. Pour l'orientation météorologique comme pour les saisons, les habitants de l'Australie, du cap de Bonne-Espérance, du cap Horn, de Buenos-Ayres ou de Santiago sentent et parlent à l'inverse de nous.

La latitude, c'est-à-dire l'angle sous lequel les rayons du soleil arrivent à la surface du sol, étant la grande cause de la succession des climats de l'équateur aux pôles, la diminution serait progressive et régulière si la Terre était un globe d'une régularité parfaite, au lieu d'être partagé en terres et en eaux, et traversé de montagnes, de plateaux et de vallées. La quantité de chaleur, évaluée, par exemple, à 1000 sous l'équateur, irait en décroissant régulièrement, serait marquée par 923 sous l'un et l'autre tropique, par 720 à la latitude de Paris, et par 500 sous le

cercle polaire. Mais la Terre n'est pas une sphère polie et calme, et des révolutions plus ou moins harmoniques s'y succèdent constamment.

Nous verrons dans le livre IV de cet ouvrage que l'Atmosphère est dans un état perpétuel de circulation, et qu'il y a des vents généraux qui sillonnent périodiquement les différentes contrées du globe. Ces courants réguliers modifient la distribution normale des climats. Ainsi les vents alisés qui établissent un double courant entre l'équateur et les pôles, tempèrent à la fois le froid des latitudes élevées sur lesquelles ils passent et la chaleur des régions tropicales, réchauffent les premières et rafraîchissent les secondes.

Une seconde cause vient s'ajouter à celle-là, pour varier la température le long des mêmes cercles de latitude. Le globe terrestre est partagé en océans et en continents. L'eau a une capacité plus grande que la terre pour la chaleur: il en résulte que la mer est plus froide que la terre en été, et plus chaude en hiver. Les vents qui viennent de la mer empêchent les rivages d'être aussi froids que les terres de l'intérieur. Le vent du S. O. étant celui qui souffle le plus souvent, les côtes occidentales d'Espagne, de France, l'Écosse et la Norvége, sont plus chaudes que les pays de l'intérieur des terres à latitude égale. Le grand courant marin du Gulf-Stream dont nous parlerons aussi s'ajoute à cette modification pour l'augmenter encore.

L'eau s'échauffe moins à sa surface que les matières terreuses, parce que celles-ci ont une chaleur spécifique très-inférieure à celle de l'eau. En sorte que la quantité de chaleur solaire nécessaire pour élever leur température de 10°, par exemple, est beaucoup moins considérable que celle qui peut élever du même nombre de degrés la température d'une couche liquide.

Nous devons remarquer, en outre, que les rayons solaires, qui s'absorbent dans une très-mince couche terrestre, pénètrent en partie dans l'eau à une profondeur considérable; qu'en mer, notamment, ils ne s'éteignent tout à fait qu'après avoir traversé des profondeurs d'une centaine de mètres, en sorte que la chaleur provenant de l'absorption, au lieu de se concentrer à la surface, porte sur une grande masse d'eau, et doit être d'autant moindre que cette masse est plus considérable.

L'évaporation, cause très-intense de froid, comme nous l'avons vu, est d'autant plus forte que ce phénomène s'exerce sur une plus grande échelle. Or, là où le liquide peut fournir sans cesse à

l'évaporation, existe une cause de refroidissement qu'on ne trouve pas du tout ou qu'on ne trouve pas au même degré sur la terre ferme.

Il résulte de ces trois causes (chaleur spécifique, diathermansie, évaporation), que l'eau et l'atmosphère qui est en contact avec elle, doivent être moins chaudes l'été que les portions continentales des terrains semblablement situés.

En hiver, au contraire, elles sont plus chaudes, comme il est facile de le comprendre.

Nous l'avons déjà dit, les molécules superficielles, refroidies par leur rayonnement vers les régions froides de l'espace, se précipitent vers le fond à cause de leur excès de pesanteur spécifique (chap. III, p. 411); en conséquence, la surface de la mer doit conserver une température supérieure à celle que présente la surface des continents, puisqu'ici les molécules superficielles refroidies ne s'enfoncent pas dans le terrain.

Ces conséquences, déduites d'un examen minutieux du mode d'action des rayons solaires sur une surface liquide et sur une surface continentale, sont confirmées par les observations.

Ainsi, à Bordeaux, la température moyenne de l'hiver est de 6°,1, tandis que sous la latitude de cette ville la température de l'océan Atlantique ne s'abaisse jamais au-dessous de 10°,7 centigrades.

Sous le 50e degré, on n'a jamais trouvé l'océan au-dessous de 9° centigrades.

L'ensemble des observations qu'on a recueillies montre que, dans l'hémisphère nord et dans la zone tempérée, la température moyenne d'un îlot situé au milieu de l'océan Atlantique, serait plus élevée que la température moyenne d'un lieu semblablement placé sur le continent, et qu'on y trouverait un été moins chaud et un hiver moins froid. Des différences dans ce sens-là ont été particulièrement constatées à l'île de Madère.

La mer sert à égaliser les températures. De là une opposition importante entre le climat des îles ou des côtes, propre à tous les continents articulés, riches en péninsules et en golfes, et le climat de l'intérieur d'une grande masse compacte de terres fermes. Dans l'intérieur de l'Asie, Tobolsk, Barnaul sur l'Obi et Irkoutsk ont les mêmes étés que Berlin, Münster et Cherbourg; mais à ces étés succèdent des hivers dont l'effrayante température est de — 18 à — 20 degrés. Pendant les mois d'été, on voit le thermomètre se maintenir des semaines entières à 30 et 31 degrés.

Ces *climats continentaux* ont été, à bon droit, nommés *excessifs* par Buffon, et les habitants des contrées où règnent les climats excessifs paraissent être condamnés, comme les âmes en peine du Purgatoire de Dante : *A sofferir tormenti caldi e geli.*

Le climat de l'Irlande, des îles de Jersey et de Guernesey, de la presqu'île de Bretagne, des côtes de Normandie et de l'Angleterre méridionale, pays aux hivers doux, aux étés frais et nébuleux, contraste fortement avec le climat *continental* de l'intérieur de l'Europe orientale. Au nord-est de l'Irlande (54°,56'), par la même latitude que Kœnigsberg en Prusse, le myrte croît en pleine terre comme en Portugal. La température du mois d'août atteint 21 degrés en Hongrie; elle est de 16 degrés tout au plus à Dublin (sur la même ligne isotherme de 9° 1/2). La moyenne température de l'hiver descend à 2°,4 à Bude; à Dublin, où la température annuelle n'est que de 9°,5, celle de l'hiver est encore de 4°,3 au-dessus de la glace : c'est 2 degrés de plus qu'à Milan, qu'à Pavie, qu'à Padoue, que dans toute la Lombardie, où la chaleur moyenne de l'année monte à 12°,7. Aux Orcades (Stromness), un peu au sud de Stockholm (la différence de latitude n'est pas d'un demi-degré), la température moyenne de l'hiver est de 4 degrés, c'est-à-dire qu'elle est plus élevée qu'à Paris et qu'à Londres. Bien plus, les eaux intérieures ne gèlent jamais aux îles Féroë, placées par 62 degrés de latitude, sous la douce influence du vent d'ouest et de la mer. Sur les côtes gracieuses de Devonshire, dont l'un des ports (Salvemha) a été surnommé le Montpellier du nord, à cause de la douceur de son climat, on a vu l'Agave mexicana fleurir en pleine terre, et des orangers en espalier porter des fruits, quoiqu'ils fussent à peine abrités par quelques nattes. Là, comme à Penzance, comme à Gosport et à Cherbourg, sur les côtes de la Normandie, la température moyenne de l'hiver est de 5°,5; elle n'est donc inférieure à celles de Montpellier et de Florence que de 1°,3.

La température moyenne annuelle de Londres, d'après 50 ans d'observations quotidiennes (1814-1863), est de 9°,4. La température moyenne de l'été est de 15°,9 et celle de l'hiver de 3°,6. L'hiver est donc plus chaud à Londres qu'à Paris et l'été plus froid, comme la moyenne annuelle.

Quoique Cherbourg se trouve à 1 degré de latitude plus au nord que Paris, cependant sa température moyenne y est plus élevée; elle est de 11°,3, celle de Paris étant de 10°,7, seulement. La différence est bien plus grande entre les climats d'hiver

des deux villes, puisque la moyenne de l'hiver est de 6°,5 à Cherbourg et de 3°,2 à Paris. Par contre, la mer abaisse en été la température de Cherbourg et de toutes ses côtes, au-dessous de celles de Paris. Aussi voit-on là des figuiers, des lauriers, des myrtes, qui périraient aux environs de Paris. L'énorme figuier que l'on voit à Roscoff en Bretagne rivalise avec ceux de Smyrne.

Ces rapprochements montrent assez en combien de manières une seule et même température moyenne annuelle peut se répar-

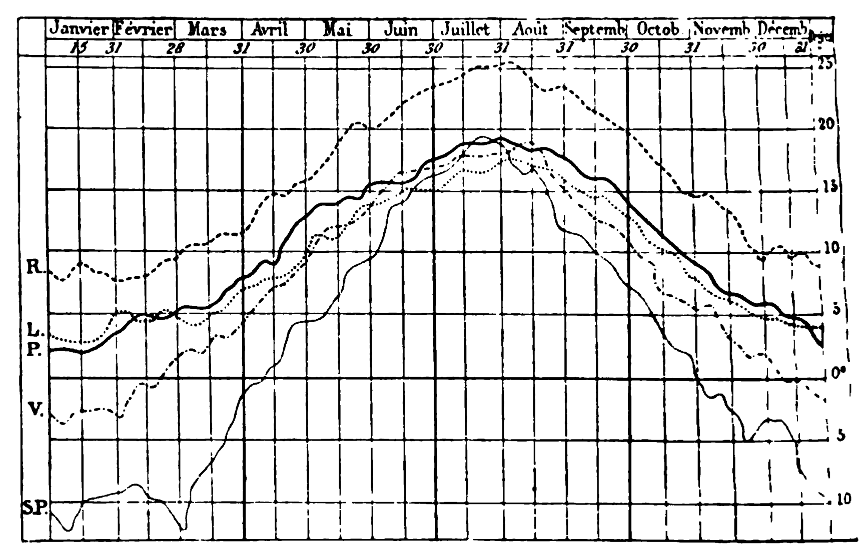


Fig. 129. — Températures comparatives des capitales de l'Europe.

de Rome, Londres, Paris, Vienne, Saint-Pétersbourg.

tir entre les diverses saisons et combien ces divers modes de distribution de la chaleur, dans le cours de l'année, exercent d'influence sur la végétation, l'agriculture, la maturation des fruits et le bien-être matériel de l'homme.

Les mêmes rapports de climats qu'on observe entre la presqu'île de Bretagne et le reste de la France, dont la masse est plus compacte, dont les étés sont plus chauds et les hivers plus rudes, se reproduisent jusqu'à un certain point, entre l'Europe et le continent asiatique, dont l'Europe forme la péninsule occidentale. L'Europe doit la douceur de son climat à sa configuration richement articulée, à l'Océan qui baigne les côtes occidentales de l'an-

cien monde, à la mer libre de glaces qui la sépare des régions polaires, et surtout à l'existence et à la situation géographique du continent africain, dont les régions intertropicales rayonnent abondamment et provoquent l'ascension d'un immense courant d'air chaud, tandis que les régions placées au sud de l'Asie sont en grande partie océaniques. L'Europe deviendrait plus froide si l'Afrique était submergée, si la fabuleuse Atlantide, sortant du sein de l'océan, venait joindre l'Europe à l'Amérique, si les eaux chaudes du Gulf-Stream ne se déversaient point dans les mers du nord, ou si une nouvelle terre, soulevée par les forces volcaniques, s'intercalait entre la péninsule Scandinave et le Spitzberg. A mesure que l'on avance de l'ouest à l'est, en parcourant sur un même parallèle de latitude, la France, l'Allemagne, la Pologne, la Russie, jusqu'à la chaîne des monts Ourals, on voit les températures moyennes de l'année suivre une série décroissante. Mais aussi, à mesure que l'on pénètre ainsi dans l'intérieur, la forme du continent devient de plus en plus compacte, sa largeur augmente, l'influence de la mer diminue, celle des vents d'ouest devient moins sensible : c'est là qu'il faut chercher la raison principale de l'abaissement progressif de la température.

La température moyenne de l'équateur est de 27°,5. En raison des causes que nous venons de spécifier et de l'absence de végétation, celle de l'intérieur de l'Afrique est de 30 degrés pour un thermomètre placé à l'ombre et à l'abri du vent chaud; mais il y a des points où l'action des vents brûlants et la rareté des nuages se combinent pour condenser une chaleur intolérable. Ainsi à l'intérieur de l'Abyssinie, et aux abords de la mer Rouge, les températures de 48 à 50 degrés à l'ombre ne sont pas rares en été. Celle du sol est bien plus élevée encore. Pendant l'après-midi, les vallées abyssiniennes sont de vraies fournaises; M. d'Abbadie a observé 70 degrés sur le sol, et les deux aventureux colonels d'état-major, MM. Ferret et Galinier, en ont constaté jusqu'à 75. L'air est stagnant au milieu de toute la chaleur réverbérée; nulle brise ne vient rafraîchir cet enfer terrestre. L'air est souvent méphytique au fond de ces gorges; malheur à celui qui s'y repose avant ou après la saison des pluies! On ne peut alors voyager que la nuit, et l'on parcourt des plaines absolument nues.

Parfois, en traversant ces déserts, dit M. d'Abbadie, on est assailli par le *karif*, trombe aérienne rougeâtre, fantôme de poussière brûlante qui apparaît à l'ho-

rizon et semble grandir en s'approchant. Le vent qui le transporte siffle comme un ouragan; hommes et bêtes sont forcés de lui tourner le dos, et restent enveloppés d'un nuage sec et noir qui les couvre comme d'un sinistre manteau. Heureusement, cet ouragan de feu ne dure que quelques minutes, et l'on se félicite, après cette nuit passagère, de retrouver la chaleur intense, mais tranquille, qui est particulière à ces régions.

D'autres fois, on est surpris par le *simun* (le *poison*), vent de flamme qui se déchaîne tout d'un coup sans signes précurseurs. On voit alors le chameau mettre sa tête contre le sol, pour chercher quelque fraîcheur sur la terre, pourtant elle-même embrasée. Les plus hardis parmi les indigènes s'affaissent avec désespoir. La prostration des forces est si subite et si complète que M. d'Abbadie, enveloppé par ce vent désastreux, ne put même parvenir à soulever un petit thermomètre placé à sa portée, afin de connaître au moins la température de ce vent étrange. L'ouragan de feu avait duré cinq minutes : les hommes périssent quand il dure un quart d'heure.

Si, par aventure, on rencontre dans cette région un maigre ruisseau, on le voit bientôt disparaître, absorbé par les sables. Ces oasis en miniature, composées de quelques arbres entourés d'herbes, sont rares dans ces plaines désolées.

Ces mêmes vallées sont le théâtre d'un phénomène des plus extraordinaires : l'irruption subite des eaux, qui, à certaines époques de l'année, causent des inondations auprès desquelles nos inondations européennes ne sont que des jeux d'enfants. Chose singulière, c'est pendant la saison d'été qu'apparaît ce phénomène redoutable.

Quelquefois on marche en toute sécurité sous un ciel serein, lorsqu'un indigène entendant au loin un bruit étrange, qui ne tarde pas à grandir, se met à crier de toutes ses forces : « Le torrent ! » et grimpe en toute hâte sur la hauteur la plus voisine. Trente secondes après, le fond de la vallée disparaît sous une large et profonde nappe d'eau qui entraîne avec elle des arbres, des quartiers de rochers et même des bêtes sauvages. Ces torrents, formés en un instant, s'épuisent dans la même journée, et ne laissent comme traces de leur passage que des débris de toutes sortes et des flaques d'eaux bourbeuses, retenues çà et là dans les anfractuosités.

Comment expliquer cet étrange phénomène? La nudité des montagnes rend compte de ces averses instantanées. Du fond de l'entonnoir où le voyageur est engagé, il ne peut voir les nuages peu étendus qui subitement se fondent en eau avec une abondance inconnue hors des régions tropicales. Il y a bien peu de terre, et encore moins de racines d'arbres pour absorber cette pluie soudaine. Elle s'écoule donc aussitôt, bondit de rocher en rocher comme le long d'un toit, débouche de chaque vallon, et arrive dans la vallée principale pour former un fleuve effrayant mais passager.

M. d'Abbadie raconte qu'un jour il arriva trop tard pour contempler dans toute sa grandeur une de ces inondations subites. Il ne trouva qu'un indigène qui, d'un air hébété, regardait la terre humide. « Sois bien, lui dit le voyageur; quelles sont tes nouvelles? Où sont tes armes? Un homme comme toi peut-il rester sans lance ni bouclier? — Sois bien, répondit l'Africain, reste en santé. Le torrent a emporté ma lance, mon bouclier, mon chameau et toute ma fortune, ma femme et mes enfants. Malheur à moi! malheur à moi! »

Des causes diverses influent donc, comme on voit, sur le climat des différentes contrées du globe, et l'on se tromperait fort si l'on calculait seulement sur la distance à l'équateur pour évaluer la décroissance de la température en marchant vers le pôle. Nous

avons dit que la température moyenne de l'équateur est de 27°,5; la température moyenne de Paris est de 10°,7; la température moyenne de — 15 degrés a été constatée le long et au delà du cercle polaire.

Pour établir un tableau fidèle de la distribution de la température à la surface de la Terre, Alexandre de Humboldt a imaginé de marquer sur une mappemonde tous les points où des observations thermométriques sérieuses ont été faites, d'y noter les degrés observés, puis de tracer des lignes passant respectivement par tous les endroits dont la température moyenne est la même. Il a désigné ces lignes sous le nom d'*isothermes* (ἴσος, égal, et θερμός, chaleur). Depuis cinquante ans que cette ingénieuse méthode a été inventée, on a multiplié les observations, et perfectionné les cartes. Le planisphère que l'on voit ici reproduit ces lignes curieuses, telles qu'on les connaît aujourd'hui : en les examinant attentivement on apprendra mieux que par toute description la distribution de la température sur la Terre.

Nous y voyons les lignes d'égales températures s'élever le long des côtes occidentales de l'Europe. Si nous regardons, par exemple, en particulier la ligne de 10 degrés, nous voyons qu'elle touche le 40ᵉ degré de latitude au sud-ouest de New-York, qu'elle s'élève jusque vers le 55ᵉ degré en approchant de l'Angleterre, de telle sorte que Dublin et Londres ont la même température moyenne que New-York, quoique situées beaucoup plus au nord; la même température redescend ensuite vers le sud, en pénétrant sur le continent allant à Vienne, Astrakan et Pékin, et descendant même au-dessous du 40ᵉ parallèle.

La ligne de plus grande chaleur, appelée équateur thermique, se tient presque partout au nord de l'équateur; sa température varie suivant les lieux de 27° à 30°. Jusqu'aux régions polaires, la température moyenne des différents lieux décroît jusqu'à la courbe de — 17°, à peine tracée encore, à cause de la difficulté des voyages d'observation dans ces régions inhospitalières.

Humboldt a remarqué que malgré ces grandes différences, la température moyenne décroît à peu près uniformément à raison d'un demi-degré du thermomètre par chaque degré de latitude. Mais comme, d'autre part, la chaleur diminue de 1° quand la hauteur augmente de 156 ou 170 mètres, il en résulte que 78 ou 85 mètres d'élévation au-dessus du niveau de la mer produisent le même effet sur la température annuelle qu'un déplacement vers le nord de 1° en latitude. Ainsi, la température moyenne annuelle

du couvent du mont Saint-Bernard, situé à 2491 mètres de hauteur, par 45°,50′ de latitude, se retrouve dans la plaine par une latitude de 75°,50′.

En étudiant la distribution de la chaleur et la surface du globe, et en traçant le système des lignes isothermes, Humboldt a mis en évidence les causes qui élèvent la température d'un lieu et celles qui l'abaissent.

Les causes qui augmentent la température moyenne sont :

La proximité de l'océan à l'ouest dans la zone tempérée ;

La configuration particulière aux continents qui sont découpés en presqu'îles nombreuses ;

Les méditerranées et les golfes pénétrant profondément dans les terres ;

L'orientation, c'est-à-dire la position d'une terre relativement à une mer libre de glaces, qui s'étend au delà du cercle polaire, ou par rapport à un continent d'une étendue considérable situé sur le même méridien, à l'équateur, ou du moins à l'intérieur de la zone tropicale ;

La direction sud-ouest des vents régnants, s'il s'agit de la bordure occidentale d'un continent situé dans la zone tempérée, les chaînes de montagnes servant de rempart et d'abri contre les vents qui viennent des contrées plus froides ;

La rareté des marécages dont la surface reste couverte de glace au printemps et jusqu'au commencement de l'été ;

L'absence des forêts sur un sol sec et sablonneux ; la sérénité constante du ciel pendant les mois d'été ; enfin le voisinage d'un courant maritime, si ce courant apporte des eaux plus chaudes que celles de la mer ambiante.

Les causes qui abaissent la température moyenne sont :

La hauteur au-dessus du niveau de la mer d'une région qui ne présente point de plateaux considérables ;

L'éloignement de la mer dans la direction de l'ouest et du sud pour notre hémisphère ;

La configuration compacte d'un continent dont les côtes sont dépourvues de golfes ;

Une grande extension des terres vers le pôle, et jusqu'à la région des glaces éternelles, à moins qu'il n'y ait entre la terre et cette région une mer constamment libre pendant l'hiver ;

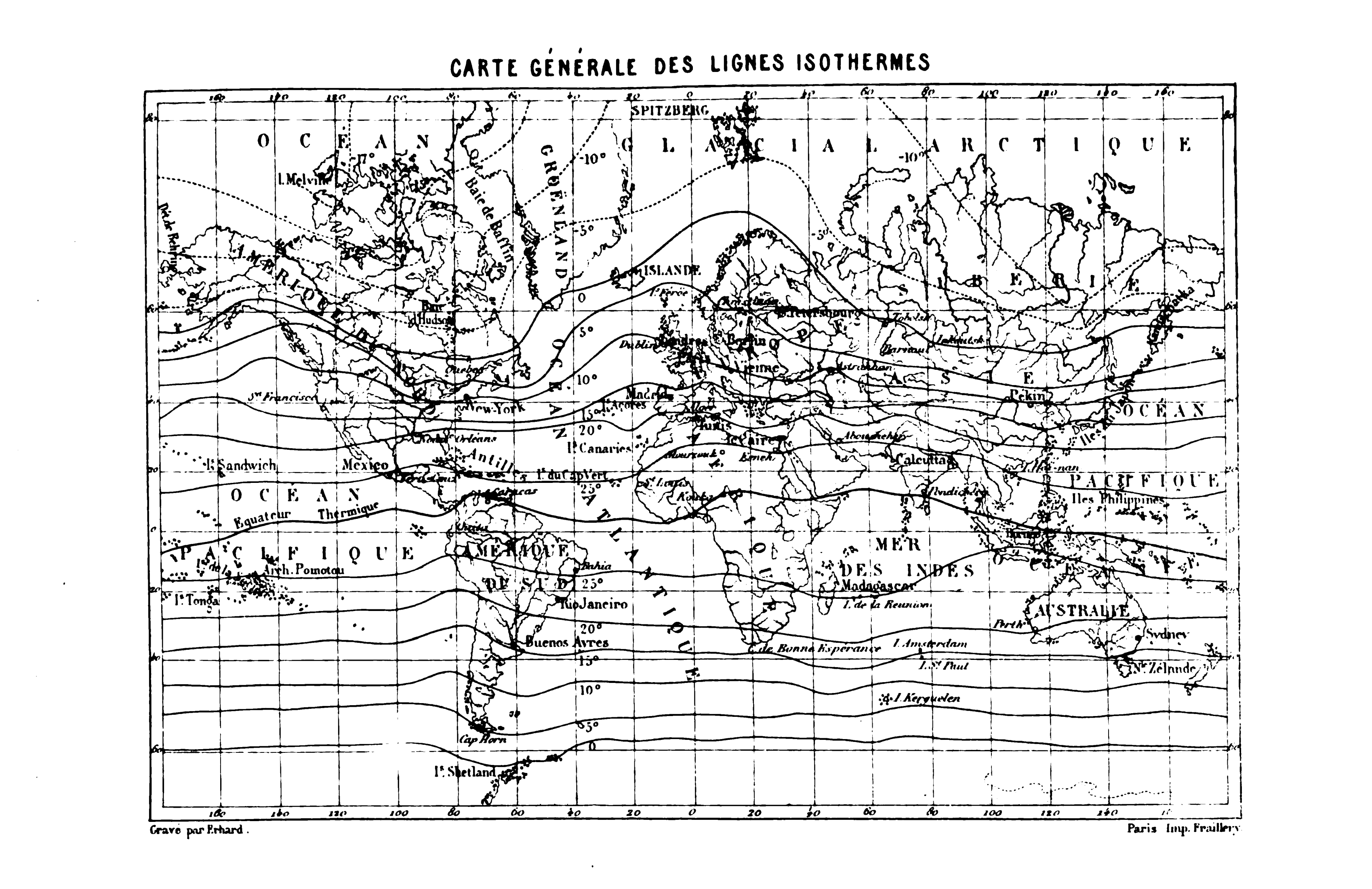
Une position géographique telle que les régions tropicales de même longitude soient occupées par la mer, en d'autres termes, l'absence de toute terre tropicale sur le méridien du pays dont il s'agit d'étudier le climat ;

Une chaîne de montagnes qui, par sa forme ou sa direction, gênerait l'accès des vents chauds, ou bien encore le voisinage de pics isolés, à cause des courants d'air froid qui descendent le long de leurs versants ;

Des forêts d'une grande étendue : elles empêchent les rayons solaires d'agir sur le sol ; les feuilles provoquent l'évaporation d'une grande quantité d'eau en vertu de leur activité organique, et augmentent la superficie capable de se refroidir par voie de rayonnement. Les forêts agissent donc de trois manières : par leur ombre, par leur évaporation, par leur rayonnement ;

Les marécages nombreux qui forment, dans le nord, jusqu'au milieu de l'été, de véritables glacières au milieu des plaines ;

CARTE GÉNÉRALE DES LIGNES ISOTHERMES



Un ciel d'été nébuleux, parce qu'il intercepte une partie des rayons du soleil;
Un ciel d'hiver très-pur, parce qu'un tel ciel favorise le rayonnement de la chaleur.

Aux conditions générales des climats, il est nécessaire d'ajouter l'influence que des circonstances locales peuvent apporter à l'état de la température observée. Il est beaucoup plus difficile qu'on ne le suppose généralement de connaître la température exacte d'un lieu quelconque de la surface du globe, et surtout d'un lieu habité, car dix thermomètres identiques et bien comparés ne marqueront pas le même point au même moment en dix rues différentes d'une même ville. La remarque principale que nous pouvons faire ici, c'est qu'en raison du rayonnement des demeures habitées, et des obstacles qu'une agglomération de maisons présente à la circulation de l'air, la température des grandes villes est toujours moins accentuée et supérieure à celle de la campagne avoisinante. Howard a démontré que la température moyenne de Londres surpasse de 1° centigrade celle de tous les environs. Les thermomètres de l'Observatoire de Paris sont moins élevés que ceux de l'intérieur de la ville, et plus que ceux installés en plein air au champ d'observation de l'Observatoire météorologique de Montsouris. Chacun a pu remarquer qu'il fait plus froid en été, et plus chaud en hiver, dans les rues étroites de l'ancien Paris que sur les places et les larges boulevards modernes. La différence atteint souvent plusieurs degrés.

En pleine campagne même, à la même altitude et à la même exposition, la température diffère suivant le voisinage des bois. Les bois agissent sur la température de l'air. La température moyenne de l'air sous bois est inférieure à celle en dehors du bois. Les maxima moyens hors du bois sont plus élevés que sous bois. La température moyenne de l'été est supérieure hors du bois à celle sous bois. Ces faits résultent, d'après MM. Becquerel, de plus de quatorze mille observations faites par eux en ces dernières années sur ce sujet.

Les heures des maxima et des minima ne sont pas les mêmes dans l'intérieur des arbres (même isolés) que dans l'air. Elles varient suivant l'espèce et le diamètre des arbres : dans les feuilles, les variations de température ont lieu à peu près comme dans l'air ambiant; dans les jeunes branches, un peu plus tard, et ainsi de suite jusqu'au tronc, où elles sont très-lentes. On fait abstraction ici de la chaleur propre des arbres résultant des diverses réactions qui ont lieu dans les tissus et de celle qu'ils empruntent aux

liquides absorbés par les racines, attendu qu'elles sont faibles, comparées à celle provenant de la radiation solaire ou du rayonnement nocturne, comme le prouvent les maxima et minima de température, lesquels sont en rapport avec ceux de l'air, quoique à des heures différentes. Cette chaleur propre des arbres joue un rôle important en hiver, en empêchant un abaissement qui leur serait fatal. Dans un arbre de 5 à 6 décimètres de diamètre, le maximum de température a lieu en été vers 10 ou 11 heures du soir, et en hiver vers 6 heures, tandis que dans l'air il se montre, suivant la saison, entre 2 ou 3 heures; de cette différence entre les heures des maxima résulte, comme on l'a reconnu du reste par l'observation, que la température peut s'abaisser dans l'air par une cause quelconque, telle que le passage d'un nuage, un changement dans la direction du vent, etc., et s'élever dans l'intérieur des arbres, par suite de la chaleur acquise par les couches extérieures, laquelle est transmise lentement aux couches intérieures, à cause de leur mauvaise conductibilité.

L'abondance des forêts et l'humidité tendent à abaisser la température, tandis que le déboisement et l'aridité produisent un effet contraire; la différence s'élève quelquefois à 2 degrés pour la température moyenne de l'année.

La conclusion des nombreuses observations faites depuis plusieurs années par MM. Becquerel, dans le Loiret, a été résumée par eux à l'Académie des sciences dans les termes suivants :

1° En été, les températures moyennes de l'air hors du bois sont supérieures à celles sous bois;

2° En hiver, c'est l'inverse;

3° La différence entre la température moyenne annuelle de l'air à plusieurs kilomètres du bois et celle sous bois s'élève à 1/2 degré à peu près.

Les températures moyennes de l'air, en été, étant plus élevées d'environ 1°,2, hors du bois que celles sous bois, et les effets étant inverses en hiver, il en résulte que le climat sous bois est un peu moins extrême que celui en dehors; il a, par conséquent, le caractère des climats marins, sous le rapport seulement de la température. Les deux flores doivent donc présenter quelques différences. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 22 mars 1869.)

Les conditions locales modifient donc plus ou moins la grande esquisse des climats que nous avons tracée tout à l'heure. L'action locale la plus grande est toujours exercée par le relief du sol. Les chaînes de montagnes partagent la surface terrestre en grands bassins, en vallées profondes et étroites, en vallées circulaires. Ces vallées, souvent encaissées, comme entre des remparts, *individualisent* les climats locaux (par exemple, en Grèce et dans une partie de l'Asie Mineure), et les placent dans des conditions toutes spéciales par rapport à la chaleur, à l'humidité, à la transparence

de l'air, à la fréquence des vents et des orages. Cette configuration a exercé de tout temps une puissante influence sur les productions du sol, le choix des cultures, les mœurs, les formes gouvernementales, et même sur les inimitiés des races voisines. Le caractère de l'*individualité géographique* atteint, pour ainsi dire, son maximum lorsque la configuration du sol, dans le sens horizontal et dans le sens vertical, est aussi variée que possible. Le caractère opposé est fortement empreint dans les steppes de l'Asie septentrionale, dans les grandes plaines herbacées du Nouveau-Monde, dans les landes à bruyères de l'Europe, et dans les déserts de sable de l'Afrique.

La France, malgré la variété que présente son sol, ou plutôt à cause de la manière dont sont disposés les éléments de cette variété, est un des pays de la Terre dont la population est le plus homogène, ou, du moins, le mieux reliée dans toutes ses parties....

C'est la réunion des terres élevées du Midi avec les plaines du Nord qui présente ce caractère d'homogénéité de climat dont toute la France ressent l'influence, et qui fait que la nation française est une des plus grandes réunions d'hommes d'une complexion analogue.

L'unité de la France est due en grande partie à ce que le noyau montagneux du Midi, à cause de son élévation, est beaucoup plus froid, proportionnellement à sa latitude, que le bassin du Nord; d'où il résulte qu'abstraction faite de la Gascogne et du littoral de la Méditerranée, le sol de la France présente jusqu'à un certain point, dans tous les départements, la même température moyenne.

Les deux parties du sol de la France, le dôme de l'Auvergne et le bassin de Paris, quoique circulaires l'une et l'autre, présentent des structures diamétralement contraires. Dans chacune d'elles, les parties sont coordonnées à un centre, mais ce centre joue dans l'une et dans l'autre un rôle complétement différent.

Ces deux pôles de notre sol, s'ils ne sont pas situés aux deux extrémités d'un même diamètre, exercent en revanche, autour d'eux, des influences exactement contraires : l'un est en creux et attractif; l'autre, en relief, est répulsif[1].

Le pôle en creux vers lequel tout converge, c'est Paris, centre de population et de civilisation. Le Cantal, placé vers le centre de la partie méridionale, représente assez bien le pôle saillant et répulsif.... L'un de nos deux pôles est devenu la capitale de la

1. Élie de Beaumont. *Carte géologique de la France.*

France et du monde civilisé; l'autre est resté un pays pauvre et presque désert....

On voit donc que l'emplacement de Paris avait été préparé par la nature, et que son rôle politique n'est, pour ainsi dire, qu'une conséquence de sa position.

Ce n'est donc ni au hasard, ni à un caprice de la fortune que Paris doit sa splendeur; et ceux qui se sont étonnés de ne pas trouver la capitale de la France à Bourges, ont montré qu'ils n'avaient étudié que d'une manière superficielle la structure de leur pays....

On peut même remarquer encore à ce sujet, que les circon stances géologiques qui font du lieu où se trouve Paris l'emplacement naturel de la capitale de la France, ont en même temps favorisé l'extension de son influence en Europe. Comme, du côté du nord-est, la France n'a pas de frontières nettement déterminées, rien, de ce côté, ne limite complétement l'influence de Paris, et cette grande ville se trouve être, de fait, la capitale intellectuelle de vastes contrées qui s'étendent au loin vers le nord-est.

Nous avons vu plus haut (p. 342) quelle est la température moyenne, annuelle et mensuelle de Paris, quelles sont les variations mensuelles et diurnes du thermomètre, comment la température agit diversement sur l'air, sur l'eau et sur le sol. Par l'examen que nous venons de faire des lignes isothermes et de la distribution de la température, nous complétons la connaissance exacte de nos climats : ce qu'il était important de faire pour nous former une juste idée de l'œuvre du Soleil à la surface de notre planète.

Après avoir apprécié l'ensemble des climats, et avant d'arriver aux pôles, dans cette petite revue géographique, il est intéressant pour nous de nous former une idée exacte des *différences extrêmes de température* supportées à la surface de la Terre.

Dans aucun lieu du globe ni dans aucune saison un thermomètre élevé de 2 ou 3 mètres au-dessus du sol, et à l'abri de toute réverbération, n'a atteint le 57e degré centigrade.

En pleine mer, la température de l'air, quels que soient le lieu et la saison, ne dépasse jamais le 30e degré centigrade.

Le plus grand degré de froid qu'on ait jamais observé sur notre globe avec un thermomètre suspendu dans l'air est de 58e centigrades au-dessous de zéro.

Les températures les plus extrêmes qu'on ait constatées dans l'air atmosphérique diffèrent donc entre elles de 115 degrés.

En comparant entre elles les températures les plus extrêmes qu'on ait constatées en un même point du globe, Arago a construit la table très-curieuse qui suit. Les lieux sont rangés par ordre de latitude décroissante :

Lieux.	Latitude.		Longitude.		Température la plus haute observée.		Température la plus basse observée.		Différences.	
Ile Melville......	74°,	47′ N	113°,	8′	+ 15°,	6	− 48°,	3	63°,	9
Port Félix.......	70	0	94	13	+ 21	1	− 50	8	71	9
Nijnei-Kolymsk..	68	32	158	34	+ 22	5	− 53	9	76	4
Reikiavik........	64	8	24	16	+ 20	5	− 20	0	40	5
Drontheim.......	63	26	8	3	+ 28	7	− 23	7	52	4
Jakoutsk.......	62	2	127	23	+ 30	0	− 58	0	88	0
Abo............	60	27	19	57	+ 35	0	− 36	0	71	0
Saint-Pétersbourg	59	56	27	58	+ 31	1	− 38	8	69	9
Upsal...........	59	52	15	18	+ 30	0	− 31	7	61	7
Stockholm.......	59	20	15	43	+ 37	5	− 33	7	71	2
Nijnei-Taguilsk...	57	56	57	48	+ 35	0	− 51	5	86	5
Kasan...........	55	48	46	47	+ 36	0	− 40	0	76	0
Moscou..........	55	45	35	14	+ 34	5	− 43	7	78	2
Hambourg.......	53	33	7	38	+ 35	0	− 30	0	65	0
Berlin...........	52	31	11	3	+ 39	3	− 28	8	68	1
Londres.........	51	31	2	28	+ 35	0	− 15	0	50	0
Dresde..........	51	4	11	24	+ 38	8	− 32	1	70	9
Bruxelles........	50	51	2	1	+ 35	0	− 21	1	56	1
Liége...........	50	39	3	11	+ 37	5	− 24	4	61	9
Lille............	50	39	0	4	+ 35	6	− 18	0	53	6
Dieppe..........	49	49	1	12	+ 33	5	− 19	8	53	3
Rouen..........	49	26	10	15	+ 38	0	− 21	8	59	8
Metz............	49	7	3	50	+ 38	1	− 21	3	59	4
Paris...........	48	50	0	0	+ 40	0	− 23	5	63	5
Strasbourg.....	48	35	5	2	+ 35	9	− 26	3	62	2
Munich (538m)...	48	8	9	14	+ 35	0	− 28	8	63	8
Bâle............	47	33	5	15	+ 34	0	− 37	5	71	5
Bude............	47	29	16	43	+ 36	0	− 22	5	58	5
Tours...........	47	24	1	39	+ 38	0	− 25	0	63	0
Dijon...........	47	19	2	42	+ 35	6	− 20	0	55	6
Québec.........	46	49	73	36	+ 37	5	− 40	0	77	5
Lausanne (528m)..	46	31	4	18	+ 35	0	− 20	0	55	0
Genève..........	46	12	3	49	+ 36	2	− 25	3	61	5
St-Bernard (2491m)	45	50	4	45	+ 19	7	− 30	2	49	9
Gr.-Chartre (2030m)	45	18	3	23	+ 27	5	− 26	3	53	8
Grenoble........	45	11	3	24	+ 35	0	− 21	6	56	6
Turin...........	45	4	5	21	+ 37	6	− 17	8	55	4
Le Puy (760m)...	45	0	1	33	+ 34	2	− 19	8	54	0
Orange.........	44	8	2	28	+ 41	4	− 18	0	59	4
Toulouse........	43	37	0	54	+ 40	0	− 15	4	55	4
Montpellier.....	43	37	1	32	+ 38	6	− 18	0	56	6
Marseille.......	43	18	3	2	+ 36	9	− 17	5	54	4
Perpignan......	42	42	0	34	+ 38	6	− 9	4	48	0
Rome...........	41	54	10	7	+ 38	0	− 6	9	44	9
Naples..........	40	51	11	55	+ 40	0	− 5	0	45	0
Pékin...........	39	54	114	9	+ 43	1	− 15	6	58	7

Lieux.	Latitude.	Longitude.	Température la plus haute observée.	Température la plus basse observée.	Différences.
Lisbonne........	38°, 42	11°, 29	+ 38°, 8	— 2°, 7	41°. 5
Palerme.........	38 7	11 1	+ 39 7	0 0	39 7
Alger..........	36 5	0 44	+ 37 5	— 2 5	40 0
La Havane.......	23 9	84 43	+ 32 3	+ 7 3	25 0
Vera-Cruz.......	19 12	98 29	+ 35 6	+ 16 0	19 6
Curaçao.........	12 6	71 16	+ 32 8	+ 23 9	8 9
Ile Pulo-Pénang.	5 25	97 59	+ 32 2	+ 24 4	7 8
Quito (2908m)....	0 14 S	81 5	+ 22 0	+ 6 0	16 0
St-Louis de Marana	2 31	46 36	+ 33 3	+ 24 4	8 9
Ile Bourbon......	20 52	53 10	+ 37 5	+ 16 0	21 5

D'une manière générale, les différences entre les plus hautes et les plus basses températures sont d'autant moindres qu'on s'éloigne plus du pôle pour avancer davantage vers l'équateur. Les variations sont dues aux inflexions des isothermes.

La température des corps solides atteint des chiffres beaucoup plus élevés. Le sable, sur les bords des rivières ou de la mer, est souvent, en été, à la température de 65 à 70° centigrades. A Paris, en 1826, dans le mois d'août, Arago a trouvé avec un thermomètre couché horizontalement et dont la boule n'était recouverte que de 1 millimètre de terre végétale très-fine, 54 degrés. Le même instrument, recouvert de 2 millimètres de sable de rivière, ne marquait que 46 degrés. La plus haute température de l'air fut, pendant ce mois, de 36°,2. Le thermomètre Messier, exposé directement au soleil, le 8 juillet 1793, a marqué 63°,2. Humboldt a trouvé, dans les llanos de Vénézuéla, que le sable avait, à 2 heures de l'après-midi, une température de 55°, et quelquefois même de 60 degrés; celle de l'air, à l'ombre d'un bambou, était de 36°,2; au soleil, à 50 centimètres au-dessus du sol, elle était de 42°,8. La nuit, le sable n'avait que 28° : il avait perdu plus de 24°.

Dernièrement, le 28 août 1871, à Paris, tandis que j'observais le curieux croissant de Vénus, entre 2 et 3 heures de l'après-midi, par un ardent soleil, j'avais été frappé de la température de la terrasse de zinc sur laquelle j'avais les pieds. Un thermomètre à monture métallique qui marquait 22°,5 à l'ombre, ayant été couché sur la terrasse, atteignit sa température vers 3 heures, et marqua 60 degrés! On voit quelle différence sépare ces températures des objets exposés au soleil de celles que l'air peut atteindre.

Arrivons maintenant à la limite des climats, à l'extrémité du monde, aux régions glacées et silencieuses des pôles.

Lorsqu'on avance vers le cercle polaire, la mer se congèle et revêt un caractère tout particulier. Ce phénomène semble naître à mesure que la salure diminue et que le mouvement de rotation devient moins rapide. On rencontre déjà, vers le 50e degré de latitude, de gros morceaux de glace flottant sur la mer. Ces morceaux ont été détachés de quelque région plus septentrionale et entraînés par les courants qui vont du pôle à l'équateur. A 55 degrés, il est assez ordinaire de voir les bords de la mer se couvrir de glace.

A 60 degrés, les golfes et les mers intérieures se gèlent souvent sur toute leur surface. A 70 degrés, les glaçons flottants deviennent très-nombreux et très-gros. Ils forment quelquefois de véritables îles, lesquelles peuvent offrir jusqu'à une demi-lieue de diamètre. Enfin, vers le 80e degré, on trouve généralement des glaces fixes, c'est à-dire accumulées, arrêtées et soudées.

C'est un beau spectacle que celui de ces régions silencieuses.

Les glaces polaires sont teintes des couleurs les plus vives : on dirait des blocs de pierres précieuses. On y trouve l'éclat du diamant et les nuances éblouissantes du saphir et de l'émeraude. Ces amas d'eau solide forment tantôt de vastes champs, tantôt des montagnes élevées.

Les champs de glace composent souvent des plaines immenses. Ces champs sont quelquefois parfaitement unis, sans fissure ni creux, ni monticules. Scoresby en a vu un flottant, sur lequel une voiture aurait pu parcourir 35 lieues en ligne droite, sans le moindre empêchement. Cook en a trouvé un autre, étroit, qui joignait l'Asie à l'Amérique septentrionale.

Lorsque ces masses viennent à se rencontrer, il en résulte des chocs épouvantables, dont le fracas est semblable à celui du tonnerre.

Les montagnes de glace, sans cesse minées par la mer, changent de figure à chaque instant. Elles se heurtent, se poussent, se brisent ou se soudent. Les montagnes de glace ont communément une surface carrée taillée à pic du côté de l'Océan. De loin, elles représentent de gigantesques découpures blanches qui entament la voûte bleue du ciel. Vues de près, elles offrent une surface unie ou hérissée de mamelons; on dirait des pyramides de cristal ou de diamant, des colonnes élancées, des aiguilles pointues, ou bien des édifices bizarres et majestueux avec des arcades, des frontons, des chapiteaux. Mais bientôt ces pyramides se fendent et s'écroulent, une colonne s'affaisse et s'arrondit, une aiguille se transforme en escalier, un édifice se change en champignon.... Spectacle toujours imposant, où l'inconstance des formes rivalise avec leur variété, et la grandeur des blocs avec leur bizarrerie !

C'est un spectacle singulier et émouvant que celui des montagnes de glace flottante vues pour la première fois par le navigateur hasardé dans les régions polaires. Dans son voyage de découvertes dans les mers arctiques, en 1860, le docteur Hayes nous a conservé la première impression produite par ces apparitions.

« Nous avions rencontré notre premier iceberg, dit-il, la veille de notre arrivée au cercle polaire. En entendant la mer se briser avec fureur contre la masse encore enveloppée de brume, la vigie fut sur le point de crier : « Terre! » Mais bientôt le formidable colosse émergea du brouillard; il venait droit sur nous, terrible et menaçant; nous nous hâtâmes de lui laisser le champ libre. C'était une pyramide irrégulière, d'environ 300 pieds de largeur et 150 de hauteur; le sommet en était encore à demi caché dans la nue; mais l'instant d'après, celle-ci, brusquement déchirée, nous dévoila un pic étincelant, autour duquel de légères vapeurs enroulaient leurs volutes capricieuses. Il y avait quelque chose de singulièrement étrange dans la superbe indifférence du géant. En vain les ondes lui prodiguaient leurs plus folles caresses : froid et sourd il passait, les abandonnant à leur plainte éternelle.

« Dans le détroit de Davis, nous eûmes à passer quelques heures des plus rudes; une fois, surtout, je crus que nous touchions au terme misérable de notre carrière. Nous courions vent arrière sous la misaine et la grande voile, le ris pris et sous le foc, ayant à lutter contre une mauvaise houle, lorsque la lisse de l'avant fut arrachée; tout tomba sur le pont, il ne resta pas un pouce de toile dehors, excepté la grande voile, qui battait furieusement le mât; c'est un miracle que nous n'ayons pas fait chapelle et sombré immédiatement. Rien n'aurait pu nous sauver, si la barre n'avait pas été tenue par une main vigoureuse.

« Pour la plupart de nos camarades, le Groënland était encore une sorte de mythe; depuis quelques jours nous en suivions les côtes; mais sauf l'apparition de Disco, les nuages et la brume l'avaient constamment dérobé à nos regards. Mais voici qu'il secouait son manteau de nuées et se dressait devant nous dans son austère magnificence: ses larges vallées, ses profondes ravines, ses nobles montagnes, ses rochers déchirés et sombres ajoutaient à sa terrible désolation.

« A mesure que le brouillard s'élevait et roulait lentement ses grisâtres traînées sur la surface des eaux bleues, les montagnes de glace se succédaient et défilaient devant les navigateurs comme les châteaux fantastiques d'un conte de fées. Oubliant qu'ils venaient de libre volonté vers cette région, il leur semblait être attirés par une main invisible dans la terre des enchantements. Les elfes du Nord, dans un accès d'enfantine gaieté, avaient jeté leur voile magnifique et semblaient les conduire à l'éternelle demeure des dieux. Voici le walhalla des hardis rois de la mer, voilà la cité de Freyer, le dieu soleil; Alfheim et les retraites des elfes; Glitner, aux murs d'or et aux toits d'argent, et Gimle, le séjour des bienheureux, plus brillant que le soleil; et là-bas, bien loin, perçant les nuages, Himinborg, le mont céleste où le pont des dieux élève son arche jusqu'au firmament.

« Il est difficile d'imaginer une scène plus chargée d'impressions solennelles; impossible de rendre quel enthousiasme chaque changement soudain de ce glorieux décor éveillait dans l'esprit des navigateurs. »

Les glaces que l'on rencontre sur les côtes du Spitzberg et du Groënland ont ordinairement 20 à 25 pieds d'épaisseur; elles forment souvent des plaines immenses dont on n'aperçoit pas les limites du haut des mâts du vaisseau : c'est ce que l'on nomme des *champs de glace*. On peut estimer leur étendue à trois ou quatre cents lieues carrées. Un champ de glace présente quelquefois une surface parfaitement plane, sur laquelle un carrosse pourrait faire trente ou quarante lieues sans obstacle. D'autres fois il est raboteux et inégal; on voit d'espace en espace s'élever des éminences ou des colonnes de 20 ou 30 pieds de hauteur qui for-

ment un aspect très-pittoresque : tantôt elles ont la belle couleur bleu verdâtre des plus brillantes topazes; tantôt recouvertes d'une neige épaisse, elles présentent sur leur sommet et à leur contour les accidents les plus variés.

Les ondulations de l'eau, le mouvement des vagues ou quelque autre cause puissante, brisent un champ de glace en un instant, et le réduisent en fragments de 100 ou 200 mètres carrés. Ces fragments séparés se heurtent et se dispersent, mais quelquefois ils sont emportés par un courant rapide; alors s'ils rencontrent un courant opposé, entraînant les énormes débris d'un autre champ de glace, ces montagnes se choquent avec un épouvantable fracas.

Les glaçons, soulevés et balancés par les flots, retombent les uns sur les autres; ils se superposent, ils se couvrent de fragments plus ou moins volumineux, et composent ainsi de véritables montagnes, accidentées de mille manières, qui s'élèvent de 10 à 15 mètres au-dessus des eaux. L'épaisseur qui surnage est, en général, à la partie submergée comme 1 est à 4; ainsi, la hauteur totale de ces montagnes est de 40 à 60 mètres.

Quelquefois aussi des glaçons de 30 ou 40 mètres de longueur, chargés à leurs deux extrémités, s'enfoncent tout à fait sous les eaux à une profondeur assez grande pour que le vaisseau passe au-dessus d'eux; mais l'équipage est alors exposé aux plus affreux dangers : le moindre choc, la moindre cause peut déranger l'équilibre des poids qui tiennent le glaçon submergé; alors il s'élèverait avec impétuosité et lancerait le bâtiment dans les airs, ou du moins le ferait chavirer inévitablement.

Dans la baie de Baffin, on trouve des montagnes de glace beaucoup plus hautes que dans les mers du Groënland : les navigateurs en ont mesuré qui s'élevaient à plus de 30 à 40 mètres au-dessus de la surface de l'eau, et qui avaient par conséquent plus de 200 mètres de hauteur totale. On suppose que ces masses effrayantes se forment sur les côtes où elles ferment les vallées qui aboutissent à la mer et qu'ensuite elles en sont détachées. Dans la *saison du soleil*, les eaux coulent du haut de leur crête, et forment dans la mer d'immenses cascades, qui sont quelquefois surprises par les gelées. C'est alors un majestueux spectacle, mais les navigateurs le regardent de loin : en un instant ces colonnes, ces arceaux gigantesques, suspendus dans les airs, se brisent avec un horrible fracas et s'écroulent dans la mer.

Scoresby a vu fréquemment la glace se former en pleine mer à 20 lieues des côtes. Dès que les premiers embryons de cristaux

« Nous avions rencontré notre pre…
au cercle polaire. En entendant…
enveloppée de brume, la…
formidable colosse…
menaçant; nous…
irrégulière, d'en…
encore à demi…
chirée, nous…
leurs volut…
la superb…
folles c…
« D…
une…
N…

…me comme si l'on avait ré-
…cristaux arrivent promptement
…et c'est alors qu'ils commencent à
…continue, pour former des nappes de
…et qui ne tardent pas à avoir 2 ou
…d'épaisseur.

…la densité de l'eau de mer est 1,026; en
…congèle à — 2 degrés. Les eaux qui ont été
…la gelée peuvent atteindre à une densité de 1,104;

Fig. 130. — Dernières habitations humaines. Esquimaux des régions polaires.

alors elles ne gèlent qu'à — 10 degrés, et l'on sait que l'eau saturée de sel ne peut se solidifier qu'à — 15 degrés.

Ces régions désolées, où le mercure se congèle à air libre, sont cependant habitées par les Esquimaux. C'est le peuple qui s'avance le plus loin dans le froid, car il s'étend jusqu'au 79e degré de latitude! Le docteur Kane visita en 1853 deux de leurs villages sur la côte groënlandaise du détroit de Smith, à 11° du pôle. Ces villages se nomment Étah et Peterovik; la capitale du pays est Upernavik, visitée en 1861 par le docteur Hayes. On peut prendre une idée des villages aujourd'hui occupés par ce peuple d'où descend l'Amérique en jetant les yeux sur notre figure 130. Les huttes sont construites par assises, à l'aide de blocs de neige taillés en forme de dômes. L'entrée est une ouverture circulaire très-basse. La lumière pénètre dans ces maisons d'un genre si singulier par une fenêtre formée d'une plaque bien diaphane de glace épaisse.

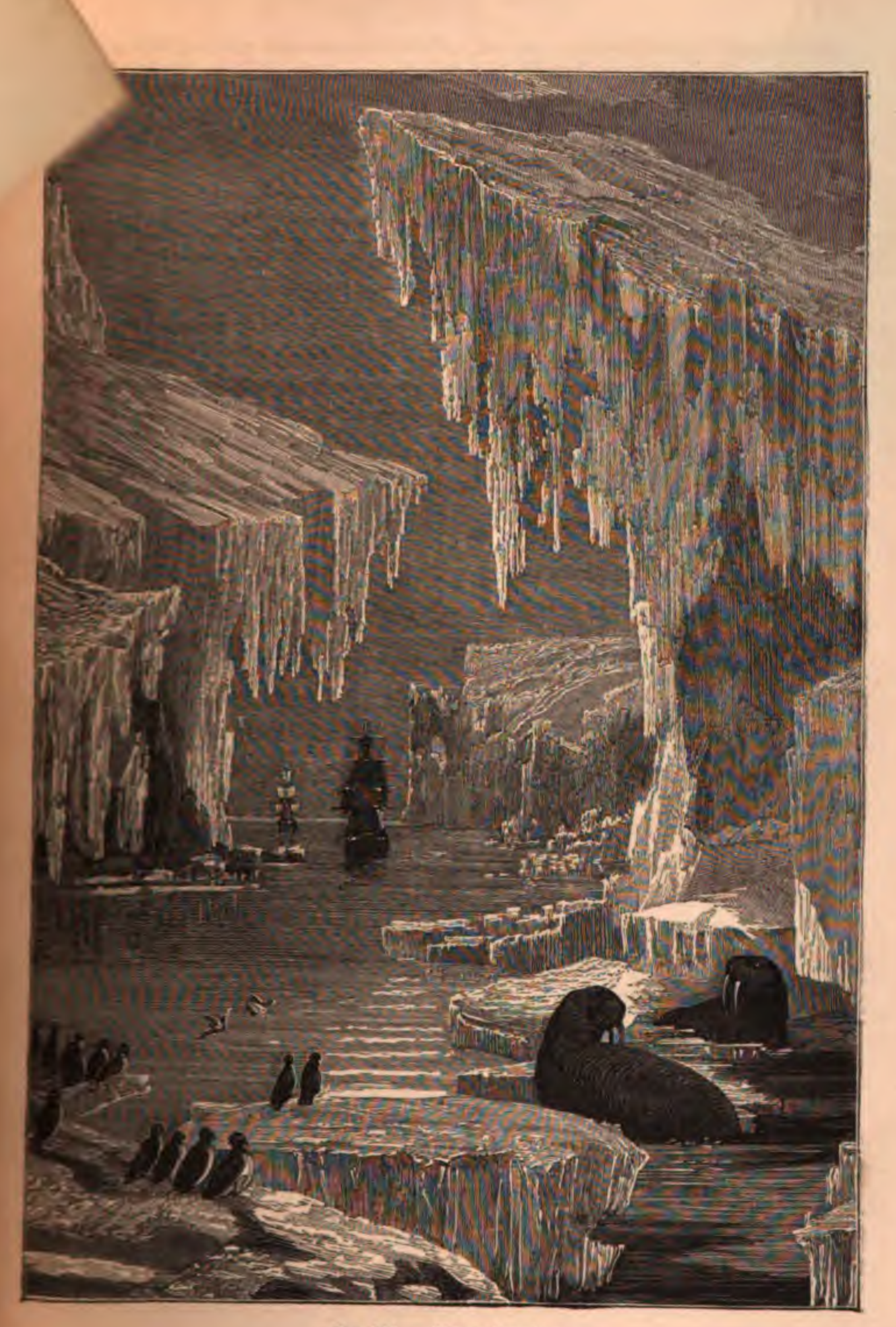


Fig. 131. — Glaces des pôles.

Le point le plus rapproché du pôle où l'on soit parvenu n'en est qu'à 6 degrés un quart (lat. 82° 45'), c'est-à-dire à 170 lieues seulement. Parry et James Ross se sont arrêtés là en 1826. L'infortuné Franklin n'alla pas au delà du 77°. Le docteur Hayes navigua dans la mer polaire jusqu'à 81° 40' au mois de mai 1861.

Terminons cette vue générale des climats en remarquant que la dernière ligne isotherme suffisamment établie par les observations est celle de —15 degrés, qui descend au nord de l'Amérique, remonte au nord de la baie de Baffin et traverse le 80e degré de latitude, pour revenir au 70e et même au 65e. Cette ligne forme deux boucles, dans lesquelles on a constaté un accroissement de froid. Ce n'est pas au pôle même que la température moyenne est la plus basse, mais de chaque côté. Il y a ainsi ce que l'on peut appeler deux pôles de froid : l'un au nord du continent asiatique, non loin de l'archipel connu sous le nom de Nouvelle-Sibérie; sa température moyenne paraît être de —17 degrés. L'autre se trouve au nord du continent américain, dans les îles occidentales de l'archipel polaire, et sa température paraît être de —19 degrés. Il est probable que deux pôles de froid analogues existent également dans l'océan glacial antarctique. Quant au pôle nord même, les anciens calculs du mathématicien Plana, du géomètre Lambert, et de l'astronome Halley, et les recherches récentes de mon ami regretté Gustave Lambert, établissent d'une manière à peu près certaine que le froid y est beaucoup moins intense.

Pour notre pôle (je tiens compte de la réfraction), en effet, le soleil se lève au commencement de mars, monte lentement, lentement, en rasant presque l'horizon et suivant une ligne spirale qui l'élève chaque jour un peu plus. Il ne se couche plus jusqu'à la fin de septembre. Le 21 juin il atteint sa plus grande hauteur : 24 degrés. Le maximum de chaleur règne en juillet et août. De ces calculs, et des observations directes des navigateurs qui s'en sont le plus approchés, il résulte que la mer n'est pas gelée au pôle même.... Une balle prussienne a mis à mort le projet si laborieusement préparé de l'expédition française qui devait cet été même aller reconnaître la réalité, et faire faire un pas de plus à la connaissance du globe.

CHAPITRE VIII.

LES MONTAGNES.

LA CHARPENTE DU GLOBE. — LES CLIMATS EN ÉLÉVATION.
GÉOGRAPHIE BOTANIQUE. — NEIGES PERPÉTUELLES. — GLACIERS.
LES ASCENSIONS DE MONTAGNES. — LES AVALANCHES.

Nous venons d'étudier successivement les œuvres générales des rayons solaires dans l'Atmosphère terrestre et à la surface du sol baigné par le fluide aérien. Les rayons lumineux nous ont d'abord ouvert la voie, puis nous venons d'assister aussi à la distribution des rayons calorifiques, à l'organisation des climats et des saisons. Cette vue analytique sera complétée, surtout au point de vue de la vie végétale, par un coup d'œil d'ensemble jeté sur les montagnes. Déjà nous l'avons vu, la température diminue à mesure qu'on s'élève au-dessus du niveau de la mer. Les végétaux, qui ne sont pour ainsi dire qu'un tissu de rayons solaires et de gaz atmosphériques, montrent méthodiquement l'intensité de ces rayons par la succession de leurs espèces. Gravir une montagne, c'est, en géographie botanique, aller de l'équateur aux pôles. Le globe terrestre peut être comparé à deux montagnes soudées par le plan de l'équateur : les pôles sont les sommets couronnés des glaces éternelles.

Celui dont la vie s'est écoulée au sein des pays de plaines, devant la vaste étendue des régions uniformes aux abondantes prairies, aux champs fertiles; celui qui n'a point vécu dans la contemplation des hautes montagnes blanchies de neige, des chaînes tortueuses aux versants abrupts, des roches tourmentées où de rares sapins végètent immobiles, des glaciers aux vertes cassures

et des lacs bleus souriant au ciel : celui-là ne saurait comprendre le caractère de grandeur, de majesté, de domination qui appartient aux montagnes, à ces géants issus des convulsions du globe. Là-haut, sur ces sommets baignés dans l'azur céleste, l'âme humaine plane au-dessus des petits mouvements moléculaires qui agitent la surface terrestre. Dans l'aérostat solitaire emporté par les vents à travers les hauteurs de l'Atmosphère, le regard déployé sur la Terre donne à l'esprit une idée brillante de la vie, et de plus une impression de contentement indéfinissable, de pleine quiétude, de joie intime, résultant de la situation particulière en laquelle on se trouve au-dessus du monde humain et de ses vicissitudes. Sur les montagnes, l'impression est plus sévère et moins personnelle, car on sent plus solidement autour de soi le règne des forces physiques en action dans la vie du globe.

A mesure que je m'élève, traversant des zones de température moyenne décroissante, je remarque la série des arbres et des plantes, qui se succèdent suivant le climat des zones, et je fais en huit ou dix heures un voyage vers le froid, absolument semblable à celui que je ferais en allant vers les pôles. Dès qu'une montagne dépasse 1800 ou 2000 mètres, l'ascension fait passer en revue la curieuse succession des végétaux, jusqu'à leur disparition complète. Parfois, comme au Righi, les sapins qui règnent seuls à la dernière limite s'arrêtent tout d'un coup en se rapetissant soudain, et diminuent si vite sous l'action mystérieuse du climat, qu'à la hauteur d'un seul sapin au-dessus d'arbres encore fort respectables on ne trouve plus que des arbustes et de la broussaille.

Parfois, comme au Saint-Gothard, après avoir gravi pendant des heures entières des roches dénudées et stériles, et suivi les abîmes d'un désert sauvage sillonné par les torrents aux chutes retentissantes, après avoir laissé les bancs de glaces s'éclipser derrière les crêtes déchirées, on arrive sur de verts pâturages, arrosés par une eau cristalline et déployés comme d'opulentes prairies sur ces plateaux élevés.

Mais là encore un grand contraste attend l'œil observateur. Ces verdoyantes prairies s'étendent jusqu'aux noirs rochers ou jusqu'aux neiges éclatantes sans qu'un seul arbre vienne y donner son ombre, et sans que nul rameau au tremblant feuillage y appelle la douce rêverie et le repos.

La sévérité règne là comme sur les cimes alpestres dont le pas cadencé du chamois traverse seul l'inaltérable solitude.

Ce qui frappe le plus profondément l'esprit humain dans la nature de ces géants de pierre, debout devant les nations, c'est l'œuvre qu'ils accomplissent en silence dans leur immobilité séculaire.

Sont-ils inertes? passifs? stériles? inutiles? Leurs têtes chargées de neiges, enveloppées du suaire glacé des nuages, sont-elles endormies comme celles des Pharaons ensevelis dans les pyramides? Que font-ils là, ces êtres mystérieux, qui vivent dans la région intermédiaire entre la terre et les cieux, ces colosses de granit aux pieds desquels les armées humaines sont comme une poussière de fourmis? — Ils agissent, ils régissent, ils gouvernent le monde.

Rois de l'Atmosphère, frères de l'Océan, c'est à eux qu'est réservé le soin de distribuer à la terre la séve des existences. Ils ont de la mort le calme austère et l'incorruptible texture, et la mort qui les environne est la source de la vie qu'ils dispensent. Vie et mort s'engendrent mutuellement.

Les nues élevées du sein des mers vont se condenser à l'état de neige sur les cimes alpestres qui les arrêtent et successivement amoncellent une eau solide, qui résiste là-haut au tourbillon de la nature. Ici et là les bancs de glaces assoupis dans les hauteurs silencieuses se réveillent; une Source gazouille, et toute jeune, fraîche, infatigable, se trace un chemin en chantant. Elle appelle ses sœurs, et voilà que plusieurs minces filets d'une eau argentée se réunissent et courent ensemble vers les belles campagnes que déjà l'on aperçoit. De crête en crête ils jaillissent et tombent en cascades neigeuses, et de roc en roc descendent jusqu'aux plateaux où naissent les torrents écumeux. Voici des lacs transparents encadrés de leurs montagnes, et qui semblent sourire doucement au ciel. Les nuages s'y mirent en passant — nuage et lac ne sont-ils pas jumeaux, et comme Castor et Pollux ne prennent-ils pas tour à tour leur place réciproque?

Les rives escarpées balancent sur leur miroir les rameaux des plantes, et les rochers nus y reflètent leurs flancs sauvages. Mais l'eau continue de chercher les plaines basses, qui l'attirent sans cesse. Elle forme alors ces cours d'eau qui jouent un si grand rôle dans l'histoire politique des nations.

Là, elle trace le Rhin, éternel sujet de guerre entre les pauvres hommes qui habitent l'une et l'autre rive, et par ce chemin septentrional va retourner à l'Océan en s'approchant du pôle.

Ici le glacier du Rhône ouvre le cours du fleuve qui descendra arroser les plaines fertiles du midi. Et ainsi, tout en retournant au

sein des mers par son mouvement éternel, l'élément dessine sur la carte du monde les lignes diverses dont l'humanité, pacifique ou belliqueuse, mais presque toujours belliqueuse et faible, composera ses annales.

De quelle importance sont donc ces massifs gigantesques dans l'histoire entière du monde! Quelle œuvre perpétuelle ils accomplissent au-dessus, au-dessous et au milieu de nous! Œuvre incessante et fatale qui nous domine singulièrement, nous, pauvres êtres mortels. Tout ce grand mécanisme fonctionne de la mer à l'Atmosphère, de l'Atmosphère aux montagnes, des montagnes aux plaines et à la mer, sans que notre race joue là le moindre rôle. Les nuées s'élèvent, la pluie tombe, la foudre retentit, la neige s'enroule aux fronts des cimes, les vents naissent et circulent, les eaux voyagent lentement dans les lacs, bruyamment dans les torrents, lourdement dans les fleuves, la verdure décore les collines et les vallées, le ciel s'anime, le soleil brille.... et tout ce mécanisme colossal, immense, universel, marche sans cesse, étranger à nos petits mouvements lilliputiens et à notre propre existence, nous enveloppant dans sa succession, calme, austère, supérieur à nous, et continuant son cours sans s'inquiéter de notre histoire.

Ainsi tout marchait sur la Terre avant l'apparition de l'homme, pendant des milliers de siècles, où la nature souriait ainsi pour elle-même, sans que nulle pensée humaine fût là pour se reposer sur son sein et regarder le ciel. Ainsi le mécanisme du monde continuera sa marche lorsque nous n'y serons plus, lorsque les générations de l'avenir auront disparu à leur tour et lorsque la race humaine sera éteinte sur cette terre.

Vous avez vu bien des âges, ô montagnes solitaires assises dans les nues! Vous avez vu les campagnes qui se déroulent à vos pieds sans troupeaux et sans travailleurs; vous avez vu vos lacs sans nacelles et sans hymnes; vous avez vu les fleuves sans villes à leurs bords et la terre sans hommes. De nouveau vous reverrez ces solitudes dans l'avenir. Et peut-être ne savez-vous pas qu'il y a actuellement des hommes qui vous contemplent, et peut-être est-ce identique qu'il y en ait ou qu'il n'y en ait pas! . . .
. . . .

Les hautes régions de l'Atmosphère, dit Al. Maury, éveillent au plus haut degré notre curiosité. Quoique nous nous efforcions par l'induction et le calcul d'en découvrir la constitution et d'en saisir les phénomènes, elles demeurent encore environnées pour nous de

bien des mystères. Nous gravissons les montagnes, nous nous élevons en ballon, nous braquons nos télescopes sur les corps célestes, et nous inventons mille instruments pour constater les moindres effets produits par des agents physiques dans l'espace qui nous sépare. Fatigués de rencontrer sans cesse sur le globe la trace de l'homme et les œuvres de ses mains, nous recherchons les régions où il n'a point encore pénétré, où la nature reste vierge et garde la physionomie des âges géologiques qui précèdent le nôtre. Il règne sur les hauts sommets un parfum d'éternité, qui nous rapproche des conditions de l'espace infini. La Bible nous représente Moïse gravissant le Sinaï pour y converser avec Dieu et recevoir directement ses volontés, c'est l'image des impressions produites sur nous par les lieux élevés. Nous nous trouvons, en effet, sur la cime des monts, face à face avec la Divinité. L'homme n'étant plus là pour déranger, selon ses besoins et ses caprices, l'ordre primitif des choses, les lois physiques nous apparaissent dans toute leur grandeur et leur géneralité.

La sublime impression qu'on reçoit de ces montagnes n'est nullement de fantaisie. Elle provient d'une véritable grandeur. C'est le réservoir de l'Europe, le trésor de sa fécondité. C'est le théâtre des échanges, de la haute correspondance des courants atmosphériques, des vents, des vapeurs, des nuages. L'eau, c'est de la vie commencée. La circulation de la vie, sous forme aérienne ou liquide, s'accomplit sur ces montagnes. Elles sont les médiateurs, les arbitres des éléments dispersés ou opposés. Elles en sont l'accord et la paix. Elles les accumulent en glaciers, et puis équitablement les distribuent aux nations.

Ces nuées, venues de si loin, doivent, après la traversée, se recueillir volontiers, chercher un moment de repos. La place est grande sur les Alpes. Quarante, cinquante lieues de glaciers, du Dauphiné au Tyrol, c'est un assez beau lit, ce semble. Mais telle est la légèreté, l'inconstance de ces voyageuses, que la bonne hospitalité des Alpes ne les retiendrait pas. Un ingénieux travail les arrête là sous forme de glace. (Michelet.)

Si la surface émergée de la planète était parfaitement unie, la régularité la plus désolante régnerait partout; les mêmes phénomènes se reproduiraient à travers toute l'étendue des continents. D'un océan à l'autre, les vents, dont aucun obstacle n'arrêterait le cours, tourneraient autour du globe avec un mouvement toujours égal, comme ces longues bandes de nuages que l'on voit sur Jupiter. Point de ces massifs élevés qui, par leur

position transversale à la direction des vents, produisent une rupture d'équilibre et répercutent les courants atmosphériques dans tous les sens; point de ces grands réfrigérateurs qui condensent l'eau des nuages et la gardent dans leurs réservoirs de neige et de glace : partout les pluies tomberaient d'une manière à peu près égale, et les eaux, ne trouvant point de déclivité pour

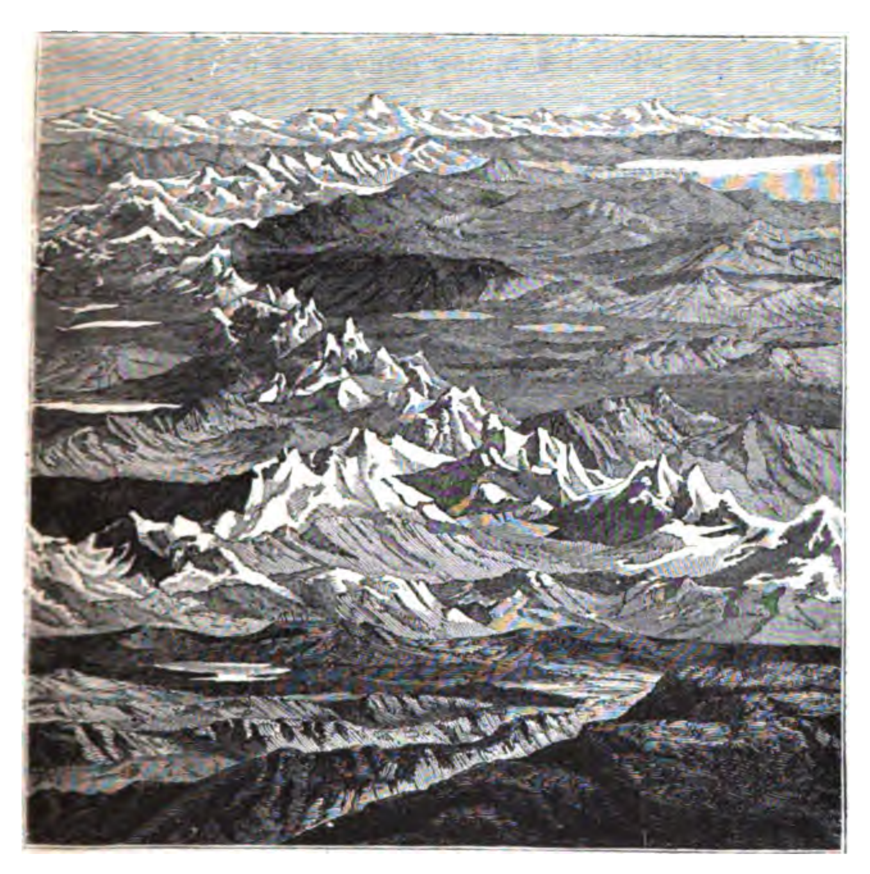


Fig. 132. — Les montagnes. Panorama des Andes.

s'écouler vers l'Océan, formeraient des marécages putrides. L'équilibre parfait des forces de la nature aurait pour conséquence la stagnation universelle et la mort. Si les hommes pouvaient exister sur une terre pareille, loin de trouver dans l'uniformité de l'immense plaine de plus grandes facilités pour communiquer entre eux, ils resteraient épars autour de leurs lagunes dans toute la sauvagerie primitive. Les migrations de peuples entiers descen-

dant la pente des plateaux à la recherche d'une nouvelle patrie, comme de grands fleuves à la recherche de la mer, n'eussent jamais eu lieu. Toute civilisation eût été impossible. Peut-être, ainsi que le pensent certains géologues, la surface du globe était-elle unie et sans puissant relief quand l'ichthyosaure nageait lourdement au milieu des marécages, et que le ptérodactyle étendait ses pesantes ailes au-dessus des roseaux. C'était alors la terre du reptile, mais ce ne pouvait être celle de l'homme.

Quelles que soient les causes géologiques de la répartition actuelle des plateaux sur les continents, il faut reconnaître ce fait remarquable, que leur hauteur s'accroît avec leur proximité de la zone torride, comme si la rotation du globe avait eu pour résultat non-seulement le gonflement général de la masse planétaire, mais aussi la tuméfaction des continents eux-mêmes.

Centres vitaux de l'organisme planétaire, ils arrêtent les vents et les nuages, épanchent les eaux, modifient tous les mouvements qui s'accomplissent à la surface du globe. Grâce au circuit incessant qui se produit entre toutes les saillies du relief continental et les deux océans des eaux et de l'Atmosphère, les climats étagés sur les flancs des plateaux se mêlent diversement et mettent continuellement en rapport les unes avec les autres les flores, les faunes, les nations et les races d'hommes.

Par la grâce ou la majesté de leur forme, par leur profil hardi dessiné en plein ciel, par la ceinture de nuées qui s'enroule autour de leurs rochers et de leurs forêts, par les variations incessantes de l'ombre et de la lumière qui se produisent dans les ravins et sur les contre-forts, les montagnes prennent une apparence de personnalité, et l'on est presque tenté de voir des êtres vivants dans ces masses rocheuses. Et puis n'offrent-elles pas, dans un petit espace, un résumé de toutes les beautés de la terre? Les climats et les zones de végétation s'étagent sur leurs pentes; on peut y embrasser d'un seul regard les cultures, les forêts, les prairies, les glaces, les neiges, et chaque soir la lumière mourante du soleil donne aux sommets un merveilleux aspect de transparence, comme si l'énorme masse n'était qu'une légère draperie rose flottant dans les cieux. (Élisée Reclus.)

Si mon lecteur veut bien se reporter à la page 131 de cet ouvrage, il y retrouvera la liste des plus hautes montagnes des cinq parties du monde, celle des plus hauts lieux du globe habités, ainsi que les plus hautes ascensions faites sur les montagnes et dans les airs. Nous avons vu plus haut (p. 320) dans quelles

proportions la température décroît à mesure qu'on s'élève dans les hauteurs de l'air. Voyons maintenant les conséquences du décroissement de la température pour ces grands massifs qui plongent leurs cimes dans les profondeurs raréfiées de l'Atmosphère.

Les premières conséquences de cet abaissement de température, c'est qu'à mesure qu'on gravit une haute montagne, on rencontre, étagées aux différentes hauteurs, des productions organiques de chaque pays, et que l'on traverse graduellement des climats de plus en plus rigoureux. Cette curieuse contiguïté des produits de l'hiver et de l'été contribue beaucoup au charme des contrées alpestres. Si l'on se place sur les sommets de la Suisse, on embrasse d'un coup d'œil le grandiose panorama des Alpes, et, comme dans une page ouverte du livre de la nature, on peut lire dans ce tableau les règles et les lois que la science a établies concernant la distribution des êtres vivants aux différentes latitudes. On aperçoit assez distinctement six zones étagées l'une sur l'autre et nettement accusées dans leurs contours par la différence de la végétation et de l'aspect du sol. Au fond, s'étend la plaine fertile entrecoupée de lacs, de grandes routes, de rivières, de forêts parsemées de villages et de métairies : c'est la résidence de l'homme. Au-dessus de ce tapis vert s'élèvent, dans un pittoresque désordre, de riantes collines, tantôt nues, tantôt couvertes de bois et d'ombrages. Plus haut, le regard rencontre des crêtes rocailleuses, couronnées de groupes de noirs sapins. Par-dessus ces rochers, on aperçoit encore des pentes couvertes de riches pâturages ; mais bientôt le caractère du paysage change brusquement : la mort succède à la vie, la verdure fait place aux teintes grises et monotones des roches nues. La montagne emprunte alors son charme ou sa grandeur à d'autres aspects, aux formes capricieuses et sauvages des rochers qui forment sa masse imposante. Plus haut, enfin, les Alpes s'enveloppent d'un resplendissant manteau de neige, sous lequel s'abrite perpétuellement leur perpétuel hiver.

Nous avons déjà vu que la géographie botanique, la distribution des végétaux à la surface du globe, a pour base directrice l'état effectif de la chaleur transmise par le Soleil à la Terre. Ce rôle de la température dans la végétation étant des plus importants, on l'a étudié le premier pour chercher les rapports qui existent entre la distribution de la chaleur et le caractère de la végétation. Cette étude a conduit à partager le globe en huit régions assez distinctes, que voici :

1° La zone équatoriale, s'étendant à 15° de chaque côté de l'équateur et jouissant d'une température annuelle moyenne de 26 à 28°. L'humidité de son atmosphère contribue, avec le concours de la chaleur, à développer des formes végétales qui y sont aussi belles que variées.

2° La zone tropicale, qui commence au 15e degré et s'étend jusqu'aux tropiques, avec une température estivale moyenne de 26° et hibernale moyenne de 15°. Déjà, sous cette zone, on trouve des variations assez nombreuses de la température.

3° La zone subtropicale, partant des tropiques et s'élevant jusqu'au 34e degré, sa température moyenne est de 17° à 21° : ce qui permet encore à des plantes équatoriales d'y fleurir. C'est la zone la plus agréable pour l'habitation de l'homme, parce que l'hiver n'y est pas assez rude pour qu'on soit obligé d'imaginer des moyens de se soustraire à sa rigueur.

4° La zone tempérée chaude, qui comprend du 34e degré au 45e de latitude, et dont la température moyenne est de 12° à 17°.

5° La zone tempérée froide, qui commence au 45e degré et finit au 58e, avec une température moyenne de 6° à 12°.

6° La zone subarctique, qui s'étend de 58° à 66° 32′. Sa température moyenne est de 4° à 6°.

7° La zone arctique, partant du cercle polaire, 66° 32′, s'étendant jusqu'au 72e et dont la température moyenne n'est guère de plus de 2°.

8° La zone polaire, commençant à 72° et se prolongeant jusqu'aux pôles. La durée de l'été y est de cinq à six semaines. La température moyenne est de —15°; en été, elle est de 3°,1; dans le mois de juillet, elle s'élève à 5°,8; mais, en août, elle retombe à 1°,2, et l'hiver elle descend jusqu'à —30°.

Ce système paraît, au premier abord, capable de satisfaire l'esprit : on y voit des coupes régulières avec des températures moyennes bien tranchées; mais à l'exception, peut-être, de la première et de la dernière zone, qui sont les mieux déterminées, les autres comportent une infinité de nuances dans les climats, avec une différence en plus ou en moins souvent considérable.

Dans les prolégomènes de la *Flore de la Laponie,* Linné a caractérisé la végétation des diverses contrées du globe avec ce style concis et pittoresque qui distingue ce grand observateur : « La famille des palmiers, dit-il, règne dans les parties les plus chaudes du globe; des plantes chargées de fruits habitent en grand nombre les zones tropicales. Une riche couronne de plantes orne les plages de l'Europe méridionale; des moissons de graminées occupent l'Europe septentrionale. La dernière et la plus froide des régions habitées, la Laponie, est couverte d'algues blafardes et de froids lichens : végétaux de la dernière espèce sur la dernière des terres. »

La succession des climats s'opérant du pied au sommet d'une montagne suivant la même loi qui la régit de l'équateur aux pôles, la végétation s'y succède dans le même ordre. Pour la flore comme pour le climat, on croirait marcher dans la direction du cercle

polaire, à mesure qu'on s'élève sur les flancs d'un pic à une plus grande altitude au-dessus des plaines; seulement, les intervalles de climat que l'on emploierait des semaines à franchir, on les traverse en quelques minutes d'ascension. Nous avons vu (liv. III, p. 320) que la température décroît en moyenne de 1 degré centigrade pour 160 à 240 mètres de hauteur, suivant la distance du sol, le lieu et la saison. Si, par exemple, on suit la succession des climats sur les pentes du mont Blanc, on voit que, la ligne de zéro étant à 2000 mètres, l'isotherme de — 5° passe à 2850 mètres; celle de — 10° à 3600; celle de — 15° à 4400; celle de — 20° gît à la hauteur de 5200 mètres. La température moyenne de l'année étant de 11° au niveau de la mer à cette latitude, on voit que le climat varie de + 11° à — 17°, ou de 28° pour 4800 mètres, c'est-à-dire que dans cette ascension, qui dure un jour, on fait le même voyage physique que si l'on se rendait de la Suisse au Spitzberg,

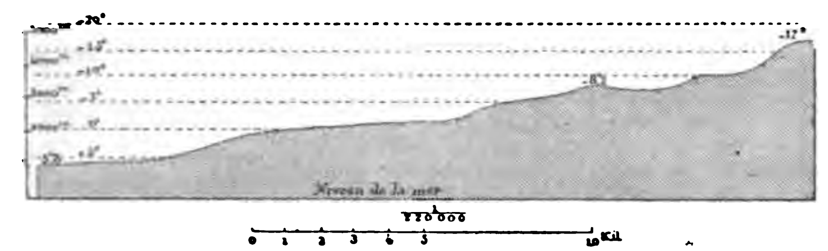


Fig. 133. Succession des climats sur le mont Blanc.

ou 35 degrés de latitude : 137 mètres d'élévation correspondent à 1 degré de latitude.

L'une des montagnes sur lesquelles on peut le mieux saisir la succession des espèces végétales est celle du Canigou, dans les Pyrénées, qui s'élève superbement à 2785 mètres de hauteur, à 15 kilomètres de Prades. Les oliviers des campagnes de la Têt croissent au pied du mont, la vigne s'élève jusqu'à 550 mètres, le châtaignier jusqu'à 800. Les derniers champs s'arrêtent à 1640 mètres; le sapin cesse à 1950 mètres, où le chêne et le hêtre ont disparu; le bouleau monte jusqu'à 2000 mètres, et le pin jusqu'à 2430, pour céder la place aux petites plantes rabougries des régions polaires. Ainsi, comme le remarque É. Reclus, du pied au sommet du Canigou, c'est un voyage analogue à celui que l'on ferait du 42° au 62° degré de latitude, de la Corse à la Norvége! ici 139 mètres d'élévation correspondent à 1 degré de latitude.

1° La zone équatoriale, s'étendant à 15° de chaque

sant d'une température annuelle moyenne de 26 à

sphère contribue, avec le concours de la chaleur

tales qui y sont aussi belles que variées.

2° La zone tropicale, qui commence au

avec une température estivale moyenn

sous cette zone, on trouve des varia

3° La zone subtropicale, partan

sa température moyenne est de

toriales d'y fleurir. C'est la

parce que l'hiver n'y est

moyens de se soustrair

4° La zone tempér

dont la températu

5° La zone

températur

6° La

est d

... les premiers, puis ...ètres, on ne trouve plus ...néanmoins sur le versant mé- ...plus haut. A peu près vers ... composait l'essence des forêts ...disparaît; le cerisier croît jusqu'à ...1300 mètres; les céréales mûrissent ... nord, et à 1510 dans les Grisons, ... les arbres verts, tels que le sapin, le ...ent alors exclusivement les vastes forêts ...montagnes; à 1800 mètres ils cessent à leur ... sur le versant méridional du mont Rose, ces

Fig. 134. — Succession des espèces végétales sur le mont Canigou.

arbres s'élèvent jusqu'à 2270 mètres : ce sont des mélèzes, des épicéas, des pins, associés à des aunes et à des bouleaux. Sur le versant nord, les conifères ne dépassent que très-rarement, et comme par exception, 2000 mètres.) Le bouleau, cet arbre robuste que nous trouvons le dernier dans le nord, est presque aussi le dernier à disparaître des flancs des montagnes; il s'élève jusqu'à une égale altitude. Toutefois, on rencontre encore à une centaine de mètres plus haut les pins cembros et mughos. Les pâturages s'élèvent jusqu'à 2600 mètres. Puis, toute végétation arborescente cesse : ce ne sont plus que de petits taillis de rhododendrons. Passé la région où ces robustes enfants des Alpes étalent leur vert feuillage, on ne trouve plus que des plantes qui excèdent à peine le sol; tel est, entre autres, le saule herbacé, qui n'est plus qu'une plante chétive : ce sont celles qu'on appelle *alpines*.

Nous pouvons cependant faire la remarque qu'une différence réelle existe entre les conditions de la vie polaire et celles de la vie alpestre glaciale. Plus on s'élève sur les montagnes, plus l'air est sec et léger; aux pôles, au contraire, l'Atmosphère est pesante des vapeurs qui la saturent. A travers cette atmosphère, la lumière peut-elle agir comme à travers l'air subtil des hauts sommets? Non : l'Atmosphère doit apporter une différence profonde dans les conditions de la vie végétale et animale, nonobstant l'analogie des climats.

Plus haut, enfin, on ne trouve que des lichens et la roche nue, et, à peu de distance de là, on rencontre la limite des neiges

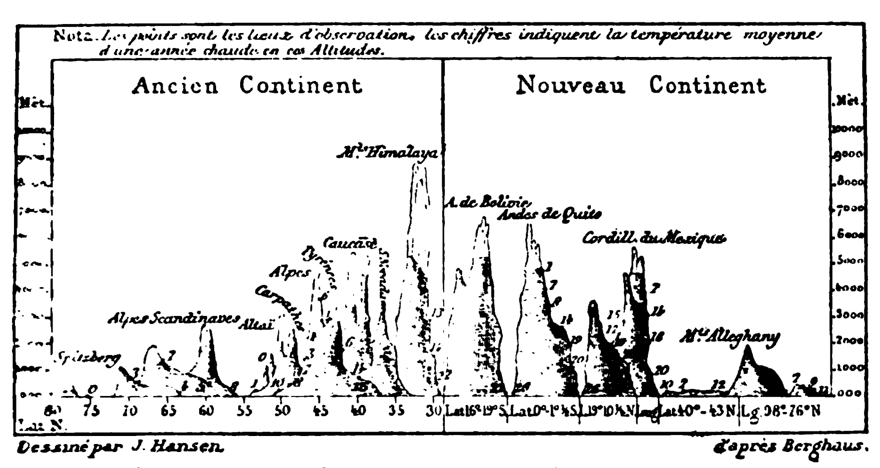


Fig. 135. — Hauteurs sur les montagnes correspondant aux lignes isothermes.

éternelles, qui varie suivant les latitudes, mais qui n'en est pas moins soumise à une loi constante.

Je n'avais jamais mieux senti la ligne de démarcation entre la vie et la mort des organismes terrestres que dans mon ascension au mont Blanc du mois de septembre 1869. Lorsqu'après s'être reposé à la « Pierre de l'Échelle, » on a gagné le bord du glacier des Bossons et traversé le couloir de l'avalanche de l'Aiguille du Midi : la vaste plaine de neige ondulée sur laquelle on arrive, la région des séracs et de leurs limpides filets d'eau transparente, les petits lacs bleus au second plan, et les Grands-Mulets dressés en face, présentent à l'âme un tableau de silencieuse et solitaire grandeur qui frappe singulièrement. Désormais on n'aura sous les yeux que la morne succession des collines blanches et le panorama des hauts sommets sourcilleux. Là règne depuis les âges

antiques du monde le Silence sépulcral, dominant la vie qui fourmille à ses pieds. Cette inaltérable majesté des têtes blanchies donne l'impression d'un monde supérieur planant sur le nôtre, et pour lequel la vie avec toutes ses agitations n'est qu'une ombre qui passe. Dans l'aérostat qui nous élève jusqu'en ces mêmes régions, nous n'éprouvons point le même contraste, car les nuages n'y sont pas à l'état de neige, et dans l'Atmosphère pure une telle ligne de démarcation n'existe pas.

Quant à la succession des plantes en elle-même, ce n'est pas au mont Blanc qu'on l'apprécie le mieux. Elle se remarque plus facilement sur les montagnes isolées qui n'atteignent pas la limite des neiges. L'une des ascensions les plus intéressantes à ce point de vue est certainement celle du Righi, avec lequel nous avons déjà fait connaissance.

De toutes les régions naturelles qui s'étagent ainsi le long des flancs d'une montagne, nulle n'a un caractère aussi tranché que la ligne des *neiges éternelles* ou persistantes, ainsi nommées avec juste raison parce qu'elles résistent aux ardeurs de l'été, ou se renouvellent aussitôt qu'une fonte partielle pendant l'été ou le printemps a diminué leur masse.

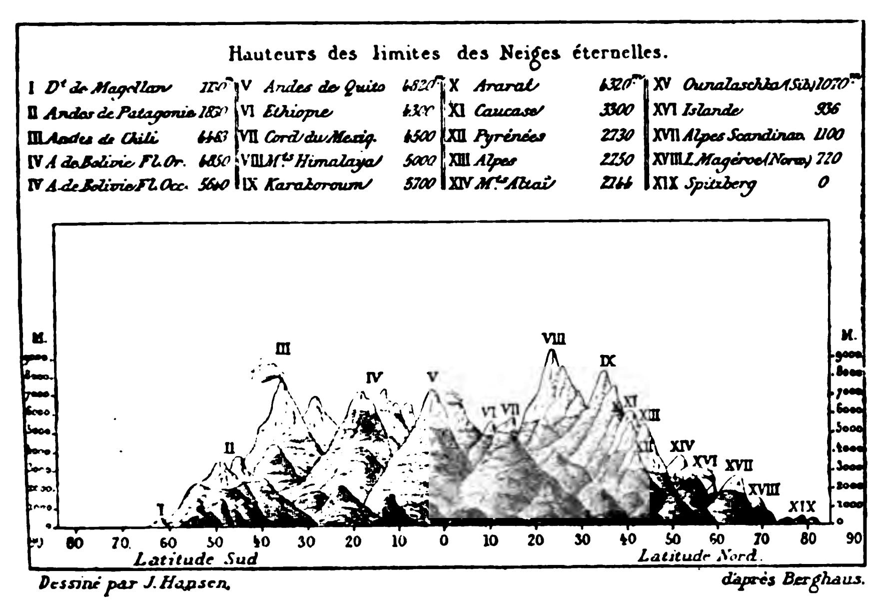
Il est facile de comprendre que la limite des *neiges persistantes* se trouve à une hauteur absolue d'autant plus grande qu'il fait plus chaud au niveau de la mer. Elle est au niveau du sol dans les régions polaires où règne un froid continu, et située à une très-grande élévation sous les tropiques.

Ce phénomène est toutefois complexe. Il dépend de la température, de l'état hygrométrique de l'air, de la forme des montagnes, de la direction des vents régnants et de leur contact soit avec la terre, soit avec la mer, de la hauteur totale de la montagne et du degré d'escarpement de ses versants, enfin de l'étendue et de l'élévation absolue des plateaux qui supportent cette montagne. Toutes ces causes réunies donnent à la limite des neiges le caractère d'une grande variabilité.

On a cherché depuis longtemps quelle relation météorologique unit l'altitude de la limite inférieure des neiges persistantes au climat de chaque contrée. Bouguer pensait que cette limite correspondait à une température annuelle moyenne égale à celle de la glace fondante. De Buch et de Humboldt ont cherché à faire voir qu'elle se rapportait mieux à une température moyenne de l'été égale à ce même degré; néanmoins, on s'est aperçu promptement que la limite des neiges ne satisfaisait point du tout à cette condition.

M. Renou, notre savant collègue de la Société météorologique, a récemment montré que cette limite est entièrement liée à la distribution de la température dans les diverses saisons.

La limite inférieure des neiges n'est pas uniquement une fonction de la latitude géographique et de la température moyenne annuelle du lieu ; ce n'est ni à l'équateur, ni même dans la zone intertropicale, comme on l'a cru longtemps, que cette limite parvient à sa plus grande hauteur au-dessus du niveau de la mer. Si on la soumet à une analyse détaillée, ce que les observations récentes permettent de faire aujourd'hui, on reconnaît qu'elle dé-



Dessiné par J. Hansen. d'après Berghaus.

Fig. 136. — Les neiges éternelles aux diverses latitudes.

pend du concours d'un grand nombre de causes, outre les précédentes, telles que la différence des températures propres à chaque saison; le degré habituel de sécheresse ou d'humidité des couches supérieures de l'Atmosphère; l'épaisseur absolue de la masse de neige qui est tombée ou qui s'est accumulée; le rapport entre la hauteur de la limite inférieure des neiges et la hauteur totale de la montagne, etc., etc.

Sous nos latitudes la neige envahit toutes les pentes jusqu'aux plaines en hiver; au printemps, elle commence à fondre par les parties inférieures; en été, elle fond rapidement, et enfin cette fusion s'arrête en automne à une certaine limite qui reste toujours à peu près la même : c'est là ce qu'on appelle la limite des

neiges perpétuelles ou mieux *persistantes*. Ainsi, le phénomène est alternatif; pendant six mois, les neiges empiètent considérablement; pendant six autres mois, elles reculent; cette simple considération montre que la limite supérieure ne doit dépendre que de la moitié la plus chaude de l'année, celle comprise pour la plupart des climats au nord de l'équateur, entre le 22 avril et le 22 octobre. On est ainsi conduit à établir cette loi générale :

Dans toutes les contrées de la terre, la limite des neiges persistantes est l'altitude à laquelle la moitié la plus chaude de l'année a une température moyenne égale à celle de la glace fondante.

Les glaciers proprement dits constituent un phénomène à part; ce sont, en effet, des amas de glace dans des vallées où elle s'accumule considérablement, et dans lesquelles elle descend sans cesse de manière à remplacer celle qui fond à la partie inférieure.

Le petit tableau suivant indique la diminution (à partir de l'Équateur) de la hauteur de la limite des neiges et de la température moyenne de la moitié la plus chaude de l'année des plaines qui sont à leur pied.

Contrées.	Latitude.	Altitude de la limite des neiges.	Température moyenne.
Andes................	1°	4,795	27°4
Mexique.............	19	4,580	26 2
Himalaya (pente S.) ..	30	3,956	25 0
Himalaya (pente N.) ..		5,067	24 0
Caucase.............	43	3,216	20 0
Pyrénées............	42	2,800	17 5
Alpes................	45	2,700	17 0
Karpathes	47	1,592	16 2
Altaï.................	49	2,144	13 4
Alpes scandinaves.....	61	1,650	10 3
Islande..............	65	940	6 3
Norvége (Mageroe)... .	71	714	4 8
Ile Cherry.....	75	180	1 2
Spitzberg, côte S. O...	78	0	0 0

Nous connaissons bien la limite *inférieure* des neiges perpétuelles; quant à leur limite *supérieure*, il ne peut pas en être question, car les cimes les plus hautes sont encore loin d'atteindre les couches d'air qui ne contiennent plus de vapeur capable d'engendrer des cristaux de glace. Il est certain que si cependant elles s'élevaient encore à une altitude plus considérable dans les espaces aériens, elles finiraient par atteindre une limite supérieure des neiges. En effet, la froide Atmosphère des hautes régions ne contient qu'une très-faible proportion de vapeur, et les rares flo-

cons de neige qui pourraient tomber sur des cimes de 15000 ou 20 000 mètres seraient bientôt balayés par le vent ou fondus par les rayons solaires. Sur les flancs d'une montagne de cette élévation il y aurait une zone de neige persistante, limitée d'un côté par une région de pâturage, de l'autre par des espaces déserts complétement dépourvus de végétation. D'après Tschudi, il ne tomberait sur les Alpes, au-dessus de 3300 mètres d'élévation, qu'une quantité de neige relativement très-faible; c'est entre 2300 et 2600 mètres que la plupart des nuages chargés de flocons déversent leur fardeau sur les pentes. A cette hauteur, l'humidité tombe aussi quelquefois sous forme de pluie; mais à 3000 mètres les nuées sont rarement pluvieuses; à 3600 mètres elles ne portent que de la neige.

La neige qui tombe sur les montagnes au-dessus de la limite des neignes perpétuelles ne fond pas. Une faible partie seulement, fondant sous l'influence du soleil, s'infiltre à travers la neige, et cette eau se congelant de nouveau pendant la nuit, la neige passe à l'état de *névé,* corps intermédiaire entre la neige et la glace, masse grenue qui se compose de cristaux arrondis et agglutinés entre eux par l'effet de la pression qu'ils supportent. La densité du névé tient le milieu entre celle de la neige et celle de la glace; tandis qu'un mètre cube de neige pèse environ 85 kilogrammes, un mètre cube de glace compacte pèse 900 kilogrammes, et le poids d'un mètre cube de névé varie entre 300 et 600 kilogrammes (l'eau pèserait 1000 kilog.). La ligne de démarcation entre la glace et le névé n'est pas bien tranchée. Suivant la pression à laquelle il est exposé, le névé passe successivement par une série de phases caractérisées par des densités différentes : il devient d'abord glace bulleuse, puis glace grenue blanche, enfin glace bleue compacte qui forme la substance des glaciers.

Les conditions les plus favorables à la formation des glaciers existent, dit Agassiz, lorsque plusieurs hautes montagnes se trouvent très-rapprochées, telles que la Jungfrau, l'Eiger, le Mœnch, le Finsteraarhorn, le Schreckhorn dans l'Oberland bernois, le Gœrnerhorn, le Mont-Rose, la Lyskaurm, etc., dans la chaîne du Mont-Rose, ou bien le Mont-Blanc, l'aiguille du Midi, le dôme du Goûter, le pic du Géant, etc., dans la chaîne du Mont-Blanc. Il arrive alors que non-seulement les sommités, mais même les plateaux et les vallées intermédiaires se recouvrent de glaciers jusqu'à des niveaux où probablement il n'en existerait point si les hautes cimes étaient plus éloignées l'une de l'autre. De vastes pla-

teaux, qui ont dix, vingt et même trente lieues carrées, ne présentent aussi qu'une surface continue de glaces, du milieu de laquelle les crêtes et les cimes des plus hautes montagnes s'élèvent comme des îles volcaniques du milieu de l'Océan. Ce sont ces vastes étendues de glaciers auxquelles on donne le nom de *mers de glace*. Ces mers de glace détachent sur toute leur circonférence des émissaires qui descendent par les gorges et les anfractuosités des montagnes dans les régions inférieures. Ce sont les *glaciers* proprement dits; leur nombre est très-variable et dépend essentiellement de la structure des massifs recouverts par les mers de glace. On compte en Suisse 600 glaciers proprement dits. Les Alpes, comprises dans la Suisse entre le Mont-Blanc et les frontières du Tyrol, forment une mer de glace de plus de 138 lieues carrées. Tels sont les réservoirs intarissables qui entretiennent les plus grands et les principaux fleuves de l'Europe.

La glace des glaciers ne ressemble en rien à la glace ordinaire. Au lieu d'être glissante et polie, elle est inégale, ridée ou striée, rarement lisse, composée enfin d'une multitude de fragments angulaires, qui ont d'ordinaire de 20 à 50 centimètres de diamètre, et qui sont séparés les uns des autres par des fissures capillaires innombrables. A mesure que l'on s'élève vers la partie supérieure des glaciers, on voit ces fragments diminuer de volume et se réduire enfin à de simples granules : la masse entière passe alors à l'état d'une neige grenue: le névé dont nous avons parlé plus haut.... Les glaciers ne sont, pour ainsi dire, que des transformations de névé opérées par l'eau. Quoique la température moyenne des régions où règnent les névés soit de beaucoup au-dessous de zéro, le soleil parvient cependant à en fondre annuellement une partie pendant les mois chauds de l'été. L'eau qui résulte de cette fonte s'infiltre dans la masse, où remplaçant l'eau que le névé contient en abondance, elle se congèle pendant la nuit, et transforme ainsi une partie du névé en une glace d'abord peu compacte, mais qui gagne de plus en plus en consistance et en épaisseur, à mesure que de nouvelles eaux viennent s'y infiltrer et que la masse entière chemine. La transformation du névé en glace s'opère généralement de bas en haut, par la raison fort simple que l'eau, tendant continuellement à descendre, c'est la partie inférieure du névé qui s'imbibe la première.

Les glaciers présentent chacun un caractère particulier, résultant de la disposition de leurs crevasses, de leurs aiguilles, de leurs moraines et de plusieurs autres accidents; de plus, ils chan-

gent d'aspect d'une année à l'autre, pendant une saison, quelquefois même du matin au soir.

Aucun glacier n'est parfaitement blanc; vus de loin, ils ont généralement une teinte bleuâtre ou verdâtre, plus intense sur les parois des aiguilles et dans l'intérieur des crevasses qu'à la surface. Lorsqu'on se trouve sur le glacier même, la surface qui n'est point recouverte par les moraines paraît d'un blanc mat. Enfin,



Fig. 137. — Mer de glace.

à mesure que l'on remonte le glacier, et que la glace devient moins compacte, les teintes perdent insensiblement de leur intensité, et le bleu des crevasses de moins en moins foncé, de plus en plus mat, se transforme en un vert d'une rare beauté. Quelles sont les causes qui déterminent ces teintes variées? La science n'a pas encore résolu ce curieux problème. Ce n'est pas l'azur du ciel, comme on l'a prétendu, car les glaciers conservent leur couleur par un temps couvert.

Le 14 septembre 1868, par un ciel couvert et après une petite pluie fine, je visitais la grotte du glacier inférieur de Grindelwald, en compagnie du professeur Lissajous, et, comme aux plus beaux jours du ciel azuré, le glacier apparaissait teinté des nuances variées de l'émeraude. Dans l'intérieur de la grotte, à l'entrée, la transparence des blocs et la réfraction de la lumière rappelaient assez singulièrement la teinte du vitriol. Au fond de la grotte, dans une salle carrée, éclairée par une lampe antique, était assise une vieille sorcière, jouant d'une cithare aux cordes métalliques: les reflets de la lampe étaient blancs comme dans une grotte de sel. La Lutschine noire sort à flots rapides du glacier. Les ravins du torrent, les cascades, les blocs des anciens éboulements, les moraines et la succession admirable des vues de la Wengernalp, réunissent en ce petit désert des Alpes une esquisse physique et météorologique qui donne à tout esprit attentif un ensemble assez complet des connaissances que nous résumons dans ce chapitre.

Tous les glaciers ont des crevasses, c'est-à-dire d'énormes fissures qui, tantôt traversent la masse de glace de part en part, tantôt ne pénètrent que jusqu'à une certaine profondeur. Seulement, le nombre, la forme, les dimensions et la disposition de ces crevasses varient à l'infini dans les divers glaciers et dans les différentes parties d'un même glacier, selon l'inclinaison plus ou moins considérable de la forme et du fond de la vallée. En général, on les enjambe ou on les saute sans peine et sans danger; mais on en rencontre parfois de tellement larges, qu'il faut ou les tourner ou les franchir avec des échelles. Dans son ascension, de Saussure en observa un qui avait plus de 32 mètres de largeur, et dont on ne voyait le fond nulle part. Ordinairement, la profondeur est de 30 à 40 mètres. La neige tombe souvent dans ces crevasses et les cache. Lorsqu'elle ne fait qu'en réunir les deux lèvres, elle forme au-dessus de l'abîme une espèce de pont qu'un simple éboulement du glacier suffit parfois à faire crouler. Ce sont ces lits de neige sans appui qui constituent le plus grand danger pour les voyageurs. Aucun indice ne révèle la large faille qui descend peut-être à des centaines de mètres de profondeur; le champ de neige est uni et semble inviter à la marche; mais qu'on mette le pied au-dessus du gouffre caché sans avoir prudemment sondé la neige, et la masse peut s'effondrer tout à coup avec le malheureux qu'elle porte. La plupart des accidents qui arrivent chaque année dans les montagnes sont dus à la chute des ponts de neige dans les précipices d'un glacier.

On ne peut se défendre d'une certaine frayeur, lorsqu'on se trouve sur le glacier au moment où se produit une crevasse. Le fleuve de glace, dit É. Reclus, se met tout à coup à craquer et à mugir, de sourdes détonations, causées par de brusques ruptures, se font entendre par moments dans l'épaisseur de la masse, tandis qu'un long bruit sifflant, semblable à celui du verre rayé par le diamant, annonce l'augmentation graduelle de la fente. Élargies petit à petit, ces crevasses offrent un spectacle saisissant. Les deux parois bleuâtres plongent jusque dans les ténèbres insondables aux regards, des pierres qui tombent de la surface rebondissent sur les saillies, puis se perdent dans l'obscurité en réveillant de sourds échos; un vague murmure d'eaux courantes s'élève des profondeurs, et parfois d'aigres bouffées d'un air froid et saisissant jaillissent de la bouche de l'abîme; en se penchant au-dessus de la béante ouverture, on ressent une sorte d'effroi, comme si les rumeurs et les ténèbres du gouffre étaient celles d'un monde mystérieux et terrible.

On donne, dans les Alpes de la Suisse française, le nom de *moraines* à ces amas de roches, de sable et de débris que l'on remarque le long des bords, à l'extrémité supérieure ou sur la surface même d'un glacier. Elles sont produites par les éboulements des montagnes qui les dominent. Leur grandeur varie selon la fréquence des avalanches dans les diverses vallées, la nature des roches dont ces avalanches sont formées, la forme du glacier, etc.; mais, en général, elles augmentent à mesure qu'elles avancent vers l'extrémité inférieure du glacier.

Il tombe environ dans les Alpes 18 mètres de neige par an, qui équivalent à une couche de $2^{m},30$ de glace. Dans ces régions élevées, la chaleur solaire est insuffisante à fondre une pareille quantité d'eau solide; il y a donc chaque année un résidu ou stock de glace qui forme le noyau des glaciers. Amassées sur place, ces couches annuelles finiraient par former de véritables montagnes. En supposant qu'en un point déterminé pris au-dessus de la ligne des neiges, la couche ajoutée chaque année soit d'un mètre, ce dépôt ajouté sans cesse à lui-même pendant la courte période de l'ère chrétienne formerait aujourd'hui une élévation de 1870 mètres. Et si cette même accumulation, au lieu de commencer avec les temps historiques, remontait jusqu'aux âges géologiques, la hauteur de la neige empilée dépasserait tout ce que nous pouvons imaginer. Il est évident qu'aucune accumulation de ce genre n'a lieu, et que la quantité de neige des montagnes n'augmente pas

dans la proportion que nous venons de dire. Pour une raison, ou pour une autre, il n'est pas permis au Soleil d'enlever l'Océan à son bassin et d'entasser ses eaux d'une manière permanente sur les montagnes.

Mais comment cet excès annuel de charge est-il enlevé aux épaules des montagnes? Par le Soleil lui-même, et par les météores. L'astre qui élève les vapeurs de l'Océan jusqu'aux sommets aériens, se charge aussi de ramener les eaux supérieures dans le grand réservoir maritime. Il en fond une partie. Les pluies et les tièdes brouillards que les vents apportent sur les pentes des montagnes l'aident énergiquement. Les vents froids y contribuent également en soulevant les neiges en tourbillons et en les faisant retomber sur les pentes inférieures où la température moyenne est plus haute. Il n'est pas une violente bourrasque d'hiver qui n'enlève des millions de mètres cubes de neige aux cimes des grandes montagnes, ainsi qu'on peut le voir d'en bas, alors que les cimes fouettées par le vent fument comme des cratères et que les couches poudreuses se dispersent en tourbillons. Toutefois les vents chauds et secs font encore plus que les tempêtes pour amoindrir les masses de neige qui pèsent sur les sommets. Ainsi le vent du midi, appelé fœhn par les montagnards de la Suisse, fond ou fait évaporer en douze heures une couche de neige atteignant parfois une épaisseur de trois quarts de mètre, « il mange la neige, » dit le proverbe, et ramène le printemps sur les hauteurs. Le fœhn est, après le Soleil, le principal agent climatérique des Alpes.

Les neiges et les glaces ne restent pas immobiles, d'ailleurs, mais descendent en glissant, et par degrés presque insensibles, le long des pentes. A mesure qu'une couche s'ajoute à une couche, les portions plus profondes de la masse se compriment et se consolident; les couches inférieures sont pressées par le poids des couches supérieures, et si elles reposent sur une pente, elles cèdent à l'effort qui les pousse, et tendent à descendre.

En même temps, le glacier glisse sur son lit incliné. Il descend en masse sur la pente de la montagne, émoussant les aspérités des roches, et polissant leurs surfaces dures. La couche inférieure de ce puissant polissoir est aussi creusée et sillonnée par les roches sur lesquelles elle passe; mais à mesure que la masse complète de neige glacée descend, elle entre dans une région plus chaude, elle est plus abondamment fondue, et quelquefois, avant d'avoir atteint la base de la pente, elle est entière-

ment tranchée ou anéantie par la fusion. Quelquefois aussi, de larges et profondes vallées reçoivent la masse gelée ainsi poussée en bas. Après s'être consolidée encore davantage dans ces vallées, cette masse continue à descendre d'un pas lent, mais mesurable, imitant dans ses mouvements le cours d'une rivière. La glace est ainsi amenée au-dessous des limites des neiges perpétuelles, jusqu'à ce qu'enfin la perte en bas égale et compense le gain en haut; en ce point le glacier cesse.

Le mouvement de translation d'un glacier n'est pas le même dans toutes ses parties. Les différentes sections sont animées de vitesses particulières. La ligne médiane où l'épaisseur et la pente sont les plus fortes se meut avec plus de rapidité. Les bords où la masse est plus mince et où le frottement produit une résistance sensible se meuvent plus lentement. Agassiz et Desor ont mesuré d'une manière précise les quantités de mouvement des différentes parties du glacier de l'Aar, en plantant à sa surface, dans le sens de sa largeur, des séries de pieux bien alignés, dont ils pouvaient observer la marche, en la rapportant à des objets fixes pris sur les roches environnantes.

Une série de pieux plantés sur une ligne droite transversale de 1350 mètres de longueur décrivait au bout d'un an une courbe complexe de plus en plus convexe. En disposant les jalons sur la ligne médiane du glacier, les physiciens suisses ont reconnu que les parties moyennes marchent de 70 ou 77 mètres par an, tandis que le talus terminal ou glacier ne s'avance que de 30 mètres, et la partie supérieure de 40 mètres environ.

Jusqu'à maintenant, les corps qui ont servi à mesurer ainsi d'une manière exacte la rapidité d'un fleuve de glace n'ont pas été nombreux. Une échelle que Saussure avait laissée en 1788 au pied de l'aiguille Noire lors de son ascension au Mont-Blanc, fut retrouvée en 1832 à la distance de 4350 mètres en aval. L'échelle était donc descendue pendant ces quarante-quatre années avec une vitesse moyenne de 99 mètres par an, ou de 27 centimètres par jour. Un havresac tombé en 1836 dans une crevasse du glacier de Talèfre, et retrouvé dix ans après, avait marché plus rapidement que l'échelle de Saussure; il avait parcouru 129 mètres par année, soit plus de 35 centimètres en vingt-quatre heures. Toutefois, ces dernières observations ne peuvent servir à mesurer la vitesse réelle du glacier, car il faudrait savoir d'une manière positive si les corps entraînés se trouvaient dans la partie centrale ou sur les bords du courant de glace, au milieu ou dans

le voisinage du fond. Quoi qu'il en soit, les calculs approximatifs portent à croire que la neige tombée au col du Géant met environ cent vingt années pour arriver, transformée en glace, à l'extrémité inférieure du glacier des Bois.

Quelques débris humains ont aussi malheureusement servi à établir le mouvement des glaces. En 1861, en 1863 et en 1865, le glacier des Bossons a rendu les restes de trois guides tombés en 1820 dans la première crevasse qui s'ouvre à la base du Mont-Blanc. Les cadavres engouffrés ont donc parcouru pendant une période de plus de quarante ans un espace de 6 kilomètres environ; ils descendaient au taux de 140 à 150 mètres par année. Un glacier plus lent des Alpes autrichiennes, qui s'épanche dans l'Ahrenthal, a rejeté, vers 1860, un cadavre bien conservé, encore revêtu d'un costume dont la coupe antique est abandonnée depuis des siècles par les montagnards.

Les héros du glacier, dit Michelet, ont été aussi ses martyrs. Par eux, surtout, on a connu son mouvement progressif. Ils l'ont mesuré de leur corps. Jacques Balmat fut englouti en 1834; Pierre Balmat en 1820; ses débris, rejetés du pied du glacier en 1861, démontrèrent qu'il accomplissait sa descente en quarante ans. Les pauvres restes qu'on voit sous verre au Musée d'Annecy touchent fort, quand on réfléchit que cette famille héroïque non-seulement monta la première au sommet, mais par son malheur constata la loi des glaciers, leur évolution régulière qui ouvre un horizon nouveau.

Tels sont les glaciers, considérés dans leur structure, leur mode de formation, leur marche, leur œuvre météorologique. Tels sont les caractères principaux des éminentes montagnes qui arrêtent les eaux du ciel pour les distribuer aux nations de la Terre.

Pour apprécier autant que possible l'aspect de la nature terrestre dans les hauteurs de l'Atmosphère raréfiée, nous pouvons suivre les voyageurs qui se sont élevés jusque-là dans des ascensions scientifiques, et considérer avec eux le panorama qu'il leur a été donné de contempler. Les premières tentatives étant celles qui nous frappent le plus, choisissons, parmi les nombreuses ascensions faites depuis près d'un siècle à la cime du géant de l'Europe, la première de toutes, celle du célèbre Horace-Bénédict de Saussure.

De 1760 à 1786, cet infatigable naturaliste avait promis de fortes récompenses aux guides du pays qui pourraient trouver un sentier praticable pour grimper jusqu'au sommet du Mont-Blanc. En

1775, quatre guides de Chamounix l'essayèrent avec persévérance, mais furent rebutés par les fatigues. En 1783, trois autres guides recommencèrent les mêmes tentatives sans pouvoir réussir. Grâce aux indications de deux chasseurs qui s'étaient avancés fort haut à la poursuite des chamois, un chantre de la cathédrale de Genève, le naturaliste Pierre Bourrit, fit les trois quarts du chemin, mais sans atteindre le faîte. Enfin, en 1786, le guide Jacques Balmat, d'une adresse prodigieuse, parvint à s'élever jusqu'au sommet, à 4810 mètres de hauteur au-dessus de la mer, 3000 au-dessus de Chamounix — par un chemin qu'il avait découvert à force de recherches, et en compagnie de son médecin, le docteur Paccard.

Après deux longs essais infructueux, en 1785 et 1786, avec Bourrit et Balmat, Horace de Saussure réalisa, le 1er août 1787, le projet qu'il rêvait depuis tant d'années. Il était accompagné de Jacques Balmat, comme guide principal, de 17 autres guides ou porteurs et de son domestique. Malgré le désir de son fils, il le laissa à Chamounix pour faire des observations correspondantes à celles qu'il se proposait de faire au sommet de la montagne. — Mais écoutons le savant auteur nous raconter lui-même les impressions de ce hardi voyage :

Pour être parfaitement libre sur le choix des lieux où je passerais les nuits, dit-il, je fis porter une tente, et le premier soir j'allai coucher sous cette tente, au sommet de la montagne de la côte. Cette journée est exempte de dangers et de peine : on monte toujours sur le gazon ou sur le roc, et l'on fait aisément la route en cinq ou six heures. Mais de là jusqu'à la cime, on ne marche plus que sur les glaces ou sur les neiges.

La seconde journée n'est pas la plus facile. Il faut d'abord traverser le glacier de la côte pour gagner le pied d'une petite chaîne de rocs qui sont enclavés dans les neiges du Mont-Blanc. Ce glacier est difficile et dangereux. Il est entrecoupé de crevasses larges, profondes et irrégulières, et souvent on ne peut les franchir que sur des ponts de neige qui sont quelquefois très-minces, et suspendus sur les abîmes. Un de mes guides faillit y périr. Il était allé la veille avec deux autres pour reconnaître le passage; heureusement ils avaient eu la précaution de se lier les uns aux autres avec des cordes, la neige se rompit sous lui au milieu d'une large et profonde crevasse, et il demeura suspendu entre ses deux camarades. Nous passâmes tout près de l'ouverture qui s'était formée sous lui, et je frémis à la vue du danger qu'il avait couru. Le passage de ce glacier est si difficile et si tortueux qu'il nous fallut trois heures pour aller du haut de la côte jusqu'aux premiers rocs de la chaîne isolée, quoiqu'il n'y ait guère plus d'un quart de lieue en ligne droite.

A quatre heures du soir, nous atteignîmes le second des trois grands plateaux de neige que nous avions à traverser. Nous nous y arrêtâmes pour y passer la nuit.

Mes guides se mirent d'abord à examiner la place dans laquelle nous devions passer la nuit; mais ils sentirent bien vite l'effet de la rareté de l'air (le baromètre n'était plus qu'à 17 pouces 10 lignes). Ces hommes robustes, pour qui sept ou huit

heures de marche que nous venions de faire ne sont absolument rien, n'avaient pas soulevé cinq ou six pelletées de neige qu'ils se trouvaient dans l'impossibilité de continuer; il fallait qu'ils se relayassent d'un moment à l'autre. L'un d'eux, qui était retourné en arrière pour prendre dans un baril de l'eau que nous avions vue dans une crevasse, se trouva mal, en y allant, revint sans eau et passa la soirée dans les angoisses les plus pénibles. Moi-même, qui suis si accoutumé à l'air des montagnes, qui me porte mieux dans cet air que dans celui de la plaine, j'étais épuisé de fatigue en préparant mes instruments de météorologie. Ce malaise nous donnait une soif ardente, et nous ne pouvions nous procurer de l'eau qu'en faisant fondre de la neige, car l'eau que nous avions vue en montant se trouva gelée quand on voulut y retourner, et le petit réchaud à charbon que j'avais fait porter servait bien lentement vingt personnes altérées.

Du milieu de ce plateau, renfermé entre la dernière cime du Mont-Blanc, au midi, ses hauts gradins de l'est et le dôme du Goûter, à l'ouest, on ne voit presque que des neiges; elles sont pures, d'une blancheur éblouissante, et sur les hautes cimes elles forment le plus singulier contraste avec le ciel presque noir de ces hautes régions. On ne voit là aucun être vivant, aucune apparence de végétation, c'est le séjour du froid et du silence. Lorsque je me représentais le docteur Paccard et Jacques Balmat arrivant les premiers au déclin du jour dans ces déserts, sans abri, sans secours, sans avoir même la certitude que les hommes pussent vivre dans les lieux où ils prétendaient aller, et poursuivant cependant toujours intrépidement leur carrière, j'admirais leur force d'esprit et leur courage.

Mes guides, toujours préoccupés de la crainte du froid, fermèrent si exactement tous les joints de la tente que je souffris beaucoup de la chaleur et de l'air corrompu par notre respiration. Je fus obligé de sortir dans la nuit pour respirer. La lune brillait du plus grand éclat, au milieu d'un ciel noir d'ébène. Jupiter sortait aussi tout rayonnant de derrière la plus haute cime à l'est du Mont-Blanc, et la lumière réverbérée par tout ce bassin de neige était si éblouissante qu'on ne pouvait distinguer que les étoiles de la première et de la seconde grandeur. Nous commencions enfin à nous endormir, lorsque nous fûmes réveillés par le bruit d'une grande avalanche qui couvrit une partie de la pente que nous devions gravir le lendemain. A la pointe du jour, le thermomètre était à 3 degrés au-dessous de la congélation.

Nous ne partîmes que tard, parce qu'il fallut faire fondre de la neige pour le déjeuner et pour la route; elle était bue aussitôt que fondue, et ces gens, qui gardaient religieusement le vin que j'avais fait porter, me dérobaient continuellement l'eau que je mettais en réserve.

Nous commençâmes à monter au troisième et dernier plateau, puis nous tirâmes à gauche pour arriver sur le rocher le plus élevé, à l'est de la cime. La pente est extrêmement rapide, de 39° en quelques endroits; partout elle aboutit à des précipices, et la surface de la neige était si dure que ceux qui marchaient les premiers ne pouvaient assurer leurs pas sans la rompre avec une hache. Nous mîmes deux heures à gravir cette pente, qui a environ 250 toises de hauteur. Parvenus au dernier rocher, nous reprîmes à droite, à l'ouest, pour gravir la dernière pente, dont la hauteur perpendiculaire est à peu près de 150 toises. Cette pente n'est inclinée que de 28° à 29°, et ne présente aucun danger; mais l'air y est si rare que les forces s'épuisent avec la plus grande promptitude; près de la cime, je ne pouvais faire que quinze ou seize pas, sans reprendre haleine; j'éprouvais même de temps en temps un commencement de défaillance, qui me forçait à m'asseoir; mais à mesure que la respiration se rétablissait, je sentais renaître mes forces; il me semblait, en me remettant en marche, que je pourrais monter d'une traite jusqu'au sommet de la montagne. Tous mes guides, proportion gardée de leurs forces, étaient dans le même état. Nous mîmes deux heures depuis le dernier rocher jusqu'à la cime, et il était onze heures lorsque nous y parvînmes.

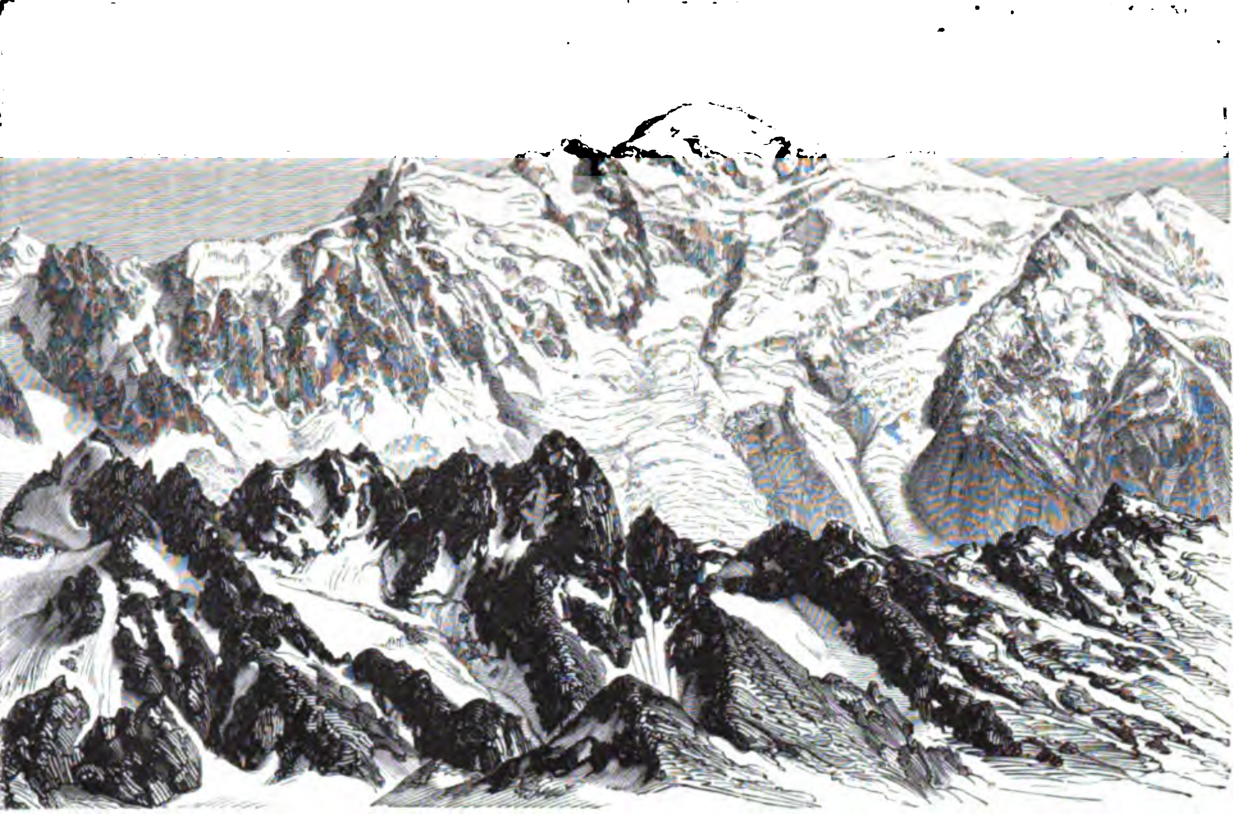


Fig. 138. — Panorama du Mont-Blanc.

Mes premiers regards se portèrent sur Chamounix, où je savais ma femme et ses deux sœurs, l'œil fixé au télescope, suivant tous mes pas avec une inquiétude trop grande sans doute, mais qui n'en était pas moins cruelle, et j'éprouvai un sentiment bien doux et bien consolant lorsque je vis flotter l'étendard qu'elles m'avaient promis d'arborer au moment où me voyant parvenu à la cime, leurs craintes seraient au moins suspendues.

Je pus alors jouir sans regret du grand spectacle que j'avais sous les yeux. Une légère vapeur suspendue dans les régions inférieures de l'air me dérobait la vue des objets les plus bas et les plus éloignés, tels que les plaines de la France et de la Lombardie; mais je ne regrettais pas beaucoup cette perte : ce que je venais de voir et ce que je vis avec la plus grande clarté, c'est l'ensemble de toutes les hautes cimes dont je désirais depuis si longtemps connaître l'organisation. Je n'en croyais pas mes yeux; il me semblait que c'était un rêve, lorsque je voyais sous mes pieds ces cimes majestueuses, ces redoutables aiguilles, le Midi, l'Argentière, le Géant, dont les bases mêmes avaient été pour moi d'un accès difficile et si dangereux. Je saisissais leurs rapports, leur liaison, leur structure, et un seul regard levait des doutes que des années de travail n'avaient pu éclaircir.

Pendant ce temps-là, les guides tendaient ma tente et y dressaient la petite table sur laquelle je devais faire mes expériences. Mais, quand il fallut disposer mes instruments, je me trouvais à chaque instant obligé d'interrompre mon travail pour ne m'occuper que du soin de respirer. Si l'on considère que le baromètre n'était là qu'à 16 pouces 1 ligne, et qu'ainsi l'air n'avait guère plus de la moitié de sa densité ordinaire, on comprendra qu'il fallait suppléer à la densité par la fréquence des aspirations. Or, cette fréquence accélerait le mouvement du sang, d'autant plus que les artères n'étaient plus contre-bandées au dehors par une pression égale à celle qu'elles éprouvent à l'ordinaire. Aussi avions-nous tous la fièvre.

Je restai cependant sur la cime jusqu'à trois heures et demie; quoique je ne perdisse pas un seul moment, je ne pus faire dans ces quatre heures et demie toutes les expériences que j'ai fréquemment achevées en moins de trois heures au niveau de la mer. Je fis cependant avec soin celles qui étaient les plus essentielles.

En quittant ce magnifique belvédère, je vins, en trois quarts d'heure, au rocher qui forme l'épaule à l'est de la cime. La descente de cette pente, dont la montée avait été si pénible fut facile et agréable. Mais il n'en fut pas ainsi de la descente, qui du haut de l'épaule, conduit au plateau sur lequel nous avions couché. La grande rapidité de cette descente, l'éclat insoutenable du soleil, réverbéré par la neige, qui nous donnait dans les yeux et qui faisait paraître plus terribles les précipices qu'il éclairait sous nos pas, la rendaient infiniment pénible. D'ailleurs, autant la dureté de la neige avait rendu le matin notre marche difficile, autant sa mollesse produite par l'ardeur du soleil nous incommodait le soir, parce que au-dessous de sa surface amollie on trouvait toujours son fond dur et glissant.

Comme nous redoutions tous cette descente, quelques-uns des guides, pendant que je faisais mes observations à la cime, avaient cherché quelque autre passage; mais leurs recherches ayant été vaines, il fallut suivre en descendant la route que nous avions suivie en montant. Cependant, grâce aux soins de mes guides, nous la fîmes sans accident aucun et cela dans moins d'une heure un quart. Nous passâmes auprès de la place, où nous avions, sinon dormi, du moins reposé la nuit précédente, et nous poussâmes encore une lieue plus loin, jusqu'au rocher près duquel nous nous étions arrêtés en montant. Je me déterminai à y passer la nuit.

Je contemplai l'amas des nuages, qui flottaient sous nos pieds, au-dessus des vallées et des montagnes moins élevées que nous. Ces nuages, au lieu de présenter des plaques et des surfaces unies, comme on les voit de bas en haut, offraient des formes extrêmement bizarres, des tours, des châteaux, des géants, et paraissaient soulevés par des vents verticaux, qui partaient des différents points du pays, situés

au-dessous. Par-dessus tous ces nuages, je voyais l'horizon liséré d'un cordon composé de deux bandes : l'inférieure d'un rouge noirâtre; la supérieure plus claire, et d'où semblait s'élever une flamme d'un bel aurore, inégale, transparente et diversement nuancée.

Nous soupâmes gaiement et de bon appétit, après quoi je passai sur mon matelas une excellente nuit. Ce fut alors seulement que je jouis du plaisir d'avoir accompli ce dessein formé depuis vingt-sept ans, dans mon premier voyage à Chamounix, en 1760 : projet que j'avais si souvent abandonné et repris, et qui était pour ma famille un continuel sujet de souci et d'inquiétude. Dans le silence de la nuit, après m'être bien reposé de ma fatigue, lorsque je récapitulais les observations que j'avais recueillies, lorsque surtout je me retraçais le magnifique tableau des montagnes que j'emportais gravé dans ma tête, et qu'enfin je conservais l'espérance bien fondée d'achever sur le col du Géant ce que je n'avais pas fait, et que vraisemblablement on ne fera jamais sur le Mont-Blanc, je goûtais une satisfaction vraie et sans mélange.

Le 4 août, quatrième jour du voyage, nous ne partîmes que vers six heures du matin. Nous fûmes ensuite obligés de traverser une large crevasse sur un pont de neige si mince, qu'il n'avait au bord que trois pouces d'épaisseur; un des guides qui s'écarta un peu du milieu où la neige était plus épaisse, enfonça une de ses jambes à faux. En entrant ensuite sur le glacier que nous devions traverser, nous le trouvâmes changé dans ces vingt-quatre heures, au point de ne pouvoir reconnaître la route que nous avions suivie en montant; les crevasses, les ponts s'étaient rompus; souvent, ne trouvant point d'issue, nous fûmes obligés de revenir sur nos pas; plus souvent encore, il fallut nous servir de l'échelle pour traverser des crevasses qu'il eût été impossible de franchir sans secours. Tout près d'arriver au bord, le pied manqua à mon guide, qui glissa jusqu'au bord d'une fente où il faillit tomber, et où il perdit un des piquets de ma tente. Dans ce moment d'effroi, un énorme glaçon tomba dans une grande crevasse, avec un fracas qui ébranla le glacier. Mais enfin nous abordâmes le roc à neuf heures et demie du matin, quittes de toute peine et de tout danger. Nous ne mîmes que deux heures trois quarts de là au prieuré de Chamounix, où j'eus la satisfaction de ramener tous mes guides parfaitement bien portants.

Notre arrivée fut tout à la fois gaie et touchante, tous les parents et amis de mes guides venaient les embrasser et les féliciter de leur retour. Ma femme, mes sœurs et mes fils, qui avaient passé ensemble à Chamounix un temps long et pénible dans l'attente de cette expédition, plusieurs de nos amis, qui étaient venus de Genève pour assister à notre retour, exprimaient dans cet heureux moment leur satisfaction, que les craintes qui l'avaient précédée rendaient plus vive, plus touchante, suivant le degré d'intérêt que nous avions inspiré. Après quelques observations comparatives, nous revînmes tous heureusement à Genève, d'où je revis le Mont-Blanc avec un vrai plaisir, et sans éprouver ce sentiment de trouble et de peine qu'il me causait auparavant.

Telle est la première ascension qui ait été faite au Mont-Blanc, ascension méthodique et complète, et dont celle de Balmat et de Paccard, faite sans bagages, sans provisions et sans instruments, n'était en quelque sorte que l'essai précurseur. Depuis, plusieurs centaines se sont succédé, et aujourd'hui on n'en compte pas moins d'une quarantaine chaque année. Les photographes eux-mêmes se sont élevés jusqu'à la cime, et ont pris diverses vues dont notre figure 138 offre un spécimen. La plupart de ces as-

censions sont faites par des touristes, qui mettent leurs jours en danger par simple curiosité et sans aucun intérêt scientifique. Un très-petit nombre méritent, comme par exemple celle de MM. Ch. Martins, Bravais et Lepileur, en 1844, d'être inscrites à côté de celle de Saussure comme contribution au progrès des connaissances humaines. Plusieurs ont été marquées par de terribles catastrophes, ordinairement dues à la témérité et à l'imprudence. L'une des plus mémorables est celle du 20 août 1820, conduite par le docteur Hamel malgré la neige fraîchement tombée, et où trois guides furent engloutis dans la grande crevasse que l'on voit à la base du sommet du Mont-Blanc. En 1845, l'ascension



Fig. 139. — Catastrophe du mont Cervin.

remarquable de MM. Desor, Dollfus-Ausset et Daniel Dollfus fut terminée par un éboulement dans lequel celui-ci ne dut la vie qu'à un petit escarpement de roches sur lequel l'avalanche le laissa pendant sa chute formidable. En 1864, l'ascension de M. Tyndall au pic de Morteratsch se termina par une pareille avalanche, sans mort d'homme. Il n'en fut pas de même dans la catastrophe du mont Cervin, en 1865. Sept voyageurs s'étaient élevés à la cime de ce pic pointu, et pour redescendre, s'étaient attachés, comme d'habitude, à une longue corde. Par un faux pas, le second de la file tomba sur le premier, puis le troisième, puis le quatrième, et, de précipice en précipice, descen-

dirent, la tête la première, pour ne s'arrêter qu'à une profondeur de 4000 pieds. Les trois derniers eurent le temps d'enfoncer dans la glace leurs bâtons ferrés, et de s'y arc-bouter avec la plus grande énergie; la corde se rompit et ils furent sauvés, mais les quatre autres, parmi lesquels était lord Douglas, étaient broyés en pâte.

La fusion des neiges entraîne parfois des déplacements du centre de gravité des grandes masses, qui alors s'écroulent le long des flancs des montagnes, heurtant avec violence tous les obstacles qui s'opposent à leur chute accélérée. Ce sont les *avalanches*, dont plusieurs, trop mémorables, ont détruit des villages entiers et enseveli de paisibles populations sous leurs ruines. La plupart des chutes des neiges se produisent avec une grande régularité, si bien que le vieux montagnard, habile à discerner les signes du temps, peut souvent annoncer, à la vue des surfaces neigeuses, à quelle heure précise aura lieu l'écroulement. Le chemin des avalanches est tout tracé sur le flanc des montagnes. Les amas neigeux qui se détachent des pentes supérieures se précipitent dans les lits inclinés que leur offrent les couloirs, descendent en longues traînées, puis arrivés au déversoir de leur étroit ravin, s'épanchent sur de larges talus de. débris. La plupart des monts sont ainsi rayés sur tout leur pourtour de sillons verticaux où s'engouffrent au printemps ces masses croulantes.

Sur les pentes rapides, les neiges glissent aussi par les escarpements, se tassent contre les obstacles, s'accumulent dans les parties les moins déclives, puis, lorsqu'elles sont animées d'une assez grande force d'impulsion, s'écroulent enfin avec fracas et se précipitent dans les profondeurs des gorges. Les allures de chaque avalanche varient d'ailleurs nécessairement suivant la forme même de la montagne. Sur les escarpements coupés à pic, les neiges des terrasses supérieures plongent directement dans les abîmes qui s'ouvrent au-dessous. Au printemps et en été, alors que les blanches assises, ramollies par la chaleur, se détachent d heure en heure des hautes cimes des Alpes, le gravisseur, arrêté sur quelque promontoire voisin, contemple avec admiration ces cataractes soudaines qui se précipitent dans les gorges du haut des sommets éclatants. On voit d'abord l'énorme couche de neige s'élancer en cataracte et s'abîmer sur les degrés inférieurs; des tourbillons de neige poudreuse s'élèvent au loin dans les airs, puis, quand le nuage s'est dissipé et que l'espace est rentré dans sa paix solennelle, on entend soudain le tonnerre de l'avalanche se prolon-

geant en sourds échos dans les anfractuosités des gorges : on dirait la voix de la montagne elle-même.

Tous ces écroulements de neige sont, dans l'économie des monts, des phénomènes non moins réguliers et normaux que l'écoulement des pluies dans les rivières, et font partie du système



Fig. 140. — L'avalanche.

général de la circulation des eaux dans chaque bassin. Mais par suite de la surabondance des neiges, d'une fonte trop rapide ou de toute autre cause météorologique, certaines avalanches exceptionnelles, analogues aux inondations des rivières débordées, produisent des effets désastreux en ravageant les cultures des pentes in-

férieures ou même en engloutissant des villages entiers. Ces catastrophes sont, avec les chutes de rochers, les plus redoutables événements de la vie des montagnes.

« Les avalanches connues sous le nom d'avalanches poudreuses sont les plus redoutées des habitants des Alpes, ajoute É. Reclus, non-seulement à cause de leurs ravages directs, mais aussi à cause des trombes qui les accompagnent souvent. Lorsque des couches nouvelles de flocons n'adhèrent pas encore aux neiges anciennes qu'elles recouvrent, il suffit parfois du passage d'un chamois, de la chute d'une branche de buisson ou même d'un simple écho, pour rompre l'équilibre instable de la nappe supérieure. Elle s'ébranle lentement en glissant sur les masses durcies, puis, là où la pente du sol favorise sa marche, elle se précipite d'un mouvement de plus en plus rapide. Incessamment grossie par les autres couches de neige et par les débris, les pierres, les broussailles qu'elle entraîne, elle passe au-dessus des corniches et des couloirs, brise les arbres, rase les chalets qui se trouvent en travers de son cours, et, semblable à un pan de montagne qui s'écroule, plonge dans la vallée pour remonter sur le versant opposé. Autour de l'avalanche, la neige poudreuse s'élève en larges tourbillons; l'air mugit à droite et à gauche, en tourmentes qui secouent les rochers et déracinent les arbres. On a vu des milliers de troncs renversés par le seul vent de l'avalanche, alors que celle-ci se traçait elle-même une large route à travers des forêts entières et dévorait en passant les hameaux de la vallée. »

Les forêts qui dominent certains villages des Alpes les préservent seules contre les redoutables effets des avalanches. Aussi est-il défendu, sous les peines les plus sévères, d'en abattre un seul arbre. Si ces forêts étaient détruites par une cause quelconque, les habitants des villages qu'elles protégent se verraient contraints d'aller s'établir ailleurs. Dans un grand nombre de localités moins exposées, on construit au-dessus des églises ou des maisons des espèces de bastions de pierre. Enfin, des galeries voûtées et capables de résister à un choc violent mettent les voyageurs à l'abri dans les passages les plus dangereux de quelques-unes des routes construites depuis le commencement de ce siècle sur les Alpes. Il ne se passe pas d'année, cependant, que ces avalanches, ou les tourmentes de neige, ne coûtent la vie à quelque infortuné voyageur.

LIVRE QUATRIÈME

LE VENT

CHAPITRE I.

LE VENT ET SA CAUSE.

CIRCULATION GÉNÉRALE DE L'ATMOSPHÈRE. — LES VENTS RÉGULIERS ET PÉRIODIQUES. — ALIZÉS. — MOUSSONS. — BRISES.

Le Livre précédent nous a fait apprécier la valeur de la chaleur solaire, et ses effets directs sur les saisons et les climats. Nous arrivons maintenant à l'étude des grands courants de l'Atmosphère et des mers, qui sont eux-mêmes la manifestation incessante de l'action du Soleil sur notre planète. Sans lui l'Atmosphère resterait immobile autour du globe, lourde, froide, morte, enveloppant la Terre d'un véritable linceul, jamais agitée d'un souffle ni d'une brise, réceptacle de tous les miasmes, empoisonnée et délétère. Par lui une immense circulation est établie d'un bout du monde à l'autre, renouvelant toutes les couches, balayant les exhalaisons funestes, remplaçant les chaleurs accablantes par une fraîcheur régénératrice, ou les froids des périodes glacées par les tièdes effluves printanières, semant partout la richesse, la fécondité, la vie, faisant en un mot respirer à tous les êtres son souffle maternel et toujours pur.

Qu'est-ce que le *vent?* Dans cette section de notre ouvrage et dans la suivante sur les nuages et les pluies, nous prenons en main les données générales de la météorologie ; car les courants d'une part, et d'autre part l'œuvre de l'eau dans l'Atmosphère, forment les deux grands centres de gravité sur lesquels s'équilibre la marche du temps, l'état météorologique des saisons et des années. C'est ici surtout qu'il importe que nous ayons des bases exactes pour notre connaissance, et que nous sachions bien nous rendre

compte du mécanisme général de cette colossale usine, distributrice des biens et des maux sur les champs de la Terre et sur les générations vivantes. La météorologie n'arrivera à soutenir la comparaison avec sa sœur aînée l'astronomie, c'est-à-dire à être fixée sur des principes connus et à permettre à la science d'annoncer les mouvements de l'Atmosphère, les vents, les pluies, les sécheresses, les tempêtes comme elle annonce les mouvements des astres, que du jour où nous pourrons embrasser sous un même coup d'œil la circulation générale qui s'effectue constamment sur le globe entier et donne naissance aux diversités locales dont les régions comme les époques sont partagées.

Qu'est-ce que le Vent?

Le Vent n'est pas autre chose qu'*une quantité quelconque d'air mise en mouvement par une altération dans l'équilibre de l'Atmosphère.*

Les températures inégales auxquelles sont constamment soumises les diverses parties de l'Atmosphère raréfient chacune de ces parties d'une manière différente. Quand l'air est échauffé, sa pesanteur diminue, et il tend à s'élever; tandis que l'air froid, qui est resté plus dense, détermine, en venant prendre sa place pour rétablir l'équilibre, un courant d'air qu'on nomme *vent*.

Supposons un instant l'Atmosphère absolument calme partout. Un nuage passe sur le soleil, l'air placé dans le passage du nuage est rafraîchi et subit une condensation. Devenu plus dense, cet air va maintenant chercher à se mettre en équilibre, un premier déplacement s'opérera dans le sens de la marche du nuage, et voilà un courant d'air frais dont la tendance sera de prendre le plus vite possible la place de l'air le plus chaud, le plus dilaté, qui l'avoisinera.

Supposons que le soleil, brillant dans un ciel sans nuage, reste immobile au-dessus de nos têtes. L'air situé directement au-dessous de lui va s'échauffer plus vite que celui qui ne reçoit que des rayons très-obliques. Dilaté, il va s'élever vers les régions aériennes moins denses, celui qui l'avoisine va chercher à prendre sa place, et voilà un autre courant d'air d'engendré.

Les grands courants de l'Atmosphère, les vents, généraux et particuliers, ne sont pas autre chose que cette recherche infatigable de l'équilibre sans cesse détruit par les diverses influences du soleil. C'est ce que nous allons d'abord constater en étendant à la surface entière du globe le petit exemple qui précède.

De quelle manière se comporteront deux portions contiguës de l'Atmosphère, si elles viennent à être inégalement échauffées?

La difficulté du problème tient à ce qu'au milieu d'un air pur l'œil ne peut saisir aucune espèce de repère propre à lui dévoiler le sens du déplacement des couches. Cependant on est arrivé à la solution dans certaines limites.

Pour déterminer comment se mêlent les atmosphères de deux salles contiguës et inégalement échauffées, Franklin imagina de promener une chandelle à toutes les hauteurs de la porte de communication. Dans le bas, près du parquet, la flamme indiquait un courant dirigé de la salle froide vers la salle chaude. Dans le haut de la porte, la flamme s'inclinant en sens inverse, signalait un courant dirigé de la salle chaude vers la salle froide. A une certaine hauteur, entre ces deux positions extrêmes, l'air semblait stationnaire.

Que conclure de cette expérience? Évidemment, répond Arago, que si, en un point de la surface de la Terre, il y a une cause d'échauffement, la colonne d'air superposée s'élève, qu'un courant inférieur se dirige vers la partie chaude, et que la colonne d'air échauffée fournit un courant supérieur ayant un mouvement inverse ou dirigé du lieu chaud vers le lieu froid.

Ceux qui ont résidé dans les régions chaudes sur le bord de la mer savent que tous les jours, à partir d'une certaine heure (neuf ou dix heures du matin), il s'élève un vent soufflant de la mer vers la terre qu'on appelle *une brise de mer*; ce vent, attendu avec impatience par les habitants, rafraîchit l'atmosphère pendant la plus grande partie de la journée jusque vers les cinq ou six heures du soir. La cause de ce vent est facile à trouver, d'après l'expérience de Franklin : il dépend, en effet, évidemment, des échauffements inégaux que l'action des rayons solaires fait éprouver aux terres continentales et à l'Océan.

Chaque jour, lorsque, à partir de neuf heures du matin, la température de la côte commence à dépasser la température moyenne qui est toujours à peu près celle de la mer, l'air qui repose sur celle-ci souffle vers la terre. Après neuf heures du soir, au contraire, lorsque la température de la côte est retombée au-dessous de la moyenne, l'air reflue de la terre vers la mer. A la brise de mer ou du matin succède ainsi chaque jour, après quelques heures de calme, la brise du soir ou de terre. A part les marées, les bateaux peuvent profiter de ces deux vents pour entrer dans les ports ou pour en sortir.

Les brises cessent de se faire sentir à une petite distance des côtes, et à leur place règnent en mer les vents qu'on appelle *moussons*, dont nous nous occuperons tout à l'heure. L'observation montre que, dans l'hémisphère boréal, la mousson de printemps commence en avril et la mousson d'automne en octobre; dans l'hémisphère austral, où nous avons vu que les saisons sont contraires, la mousson d'automne commence en avril et la mousson de printemps en octobre. Une mousson est toujours dirigée vers l'hémisphère que le soleil échauffe le plus de ses rayons. Le passage d'une mousson à la suivante est souvent une époque critique pour la navigation, soit parce que plusieurs vents forment une espèce de conflit d'où il résulte des tempêtes, soit parce qu'ailleurs il règne un calme plus ou moins prolongé entre les deux moussons contraires. La conformation des mers et des côtes influe sur les phénomènes de manière à leur imposer des lois particulières dans chaque région.

Vers l'équateur, le Soleil frappant la Terre de ses rayons, dans une direction perpendiculaire ou presque verticale, y produit, comme nous l'avons vu, une température constamment plus élevée que dans les autres points de notre globe Il en résulte que des

deux hémisphères doivent affluer vers l'équateur deux courants inférieurs.

L'air, fortement échauffé sur la zone équatoriale, s'élève en masse vers les hautes régions de l'Atmosphère. Parvenue à une certaine élévation qui nous est inconnue, mais qui dépasse plusieur kilomètres, la nappe ascendante se partage en deux autres, s'étalant dans la direction des deux pôles.

Le mouvement ascensionnel ainsi produit donne lieu à un appel d'air des deux côtés des régions torrides; deux autres nappes rasant la surface du sol se dirigent des régions tempérées vers cette ligne. Nous trouvons donc sur tout le pourtour de la Terre un double circuit aérien, que nous expliquerons comme il suit avec M. Marié Davy, le savant et laborieux directeur du service météorologique de l'Observatoire de Paris.

Envisageons d'abord le circuit nord. Un courant d'air parti des régions tropicales marche vers l'équateur. Situé dans les régions inférieures de l'Atmosphère et à la surface du globe, ce courant est directement accessible à notre observation, il constitue les *alizés* de l'hémisphère nord. Arrivé à une petite distance de l'équateur, variable suivant les saisons, il se redresse, s'élève dans l'air, et lorsqu'il a atteint un certain niveau, il reprend une direction sensiblement horizontale vers le pôle, en descendant toutefois graduellement à mesure qu'il s'éloigne de l'équateur. Maury a donné à cette branche du courant le nom de *contre-alizé* supérieur.

Borné là, le circuit ne serait pas complet; les alizés et contre-alizés, reliés entre eux par la branche ascendante de la région équatoriale, ne le sont pas encore du côté nord.

Si la Terre était immobile et qu'elle fût éclairée partout à la fois; si, de plus, sa surface était partout homogène, la réunion des deux branches horizontales s'opérerait sans doute vers le nord, comme elle a lieu vers le sud, sauf le renversement du sens du mouvement. Le contre-alizé supérieur s'infléchirait vers le sol pour venir se relier à l'alizé, et la circulation de l'Atmosphère se trouverait presque exclusivement renfermée entre des latitudes peu élevées. Remarquons toutefois que l'origine première du mouvement se trouvant à l'équateur, ce mouvement y sera régulier comme la cause qui le produit. L'alizé et le contre-alizé participeront eux-mêmes de cette régularité dans le voisinage de la ligne équinoxiale; mais à mesure qu'on s'écartera de cette ligne, l'action motrice agira d'une manière de moins en moins directe. La nappe descendante sera donc plus diffuse, moins bien limitée et moins fixe que

la nappe ascendante. Sa position moyenne dépendra de l'activité moyenne du *tirage* équatorial et de la hauteur à laquelle atteindra le contre-alizé. Cette hauteur elle-même est liée à la loi de décroissance de la température avec l'altitude; elle peut varier suivant les saisons et n'a probablement pas été la même à tous les âges du globe.

Le circuit sud est un peu plus étendu que le circuit nord; il empiète sur l'hémisphère boréal, à la surface de l'Atlantique, auquel se rapporte notre figure; en été, cet envahissement est encore plus marqué qu'en hiver.

Une circulation, quelque régulière qu'on la suppose, ne peut

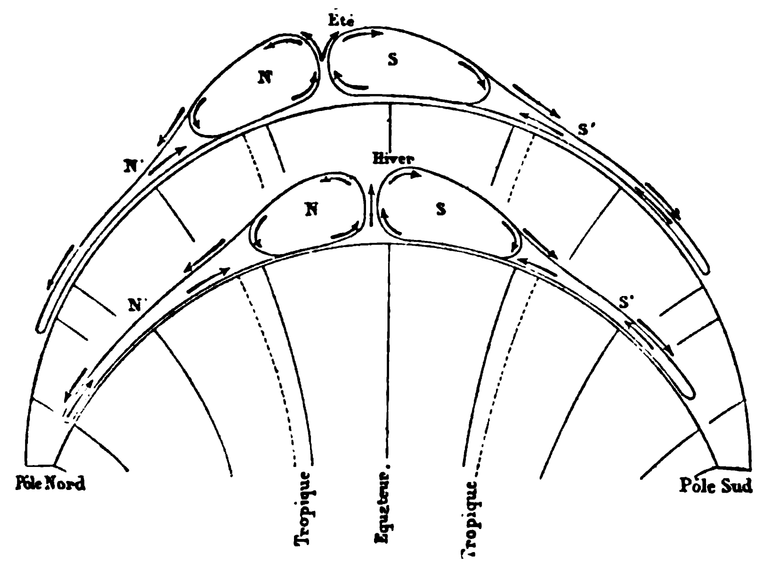


Fig. 141. — Coupe de l'Atmosphère montrant sa circulation générale.

s'établir au sein d'une atmosphère mobile comme la nôtre, sans que la partie non directement comprise dans le mouvement n'en subisse le contre-coup. La décroissance de la température s'étend d'ailleurs jusque vers les pôles, et des mouvements atmosphériques en sont la conséquence obligée à ces hautes latitudes. Deux circonstances principales font sortir les courants aériens des limites embrassées par les circuits précédents et donnent naissance aux deux circuits secondaires N′ et S′ : ce sont la rotation de la Terre sur son axe et autour du Soleil et la distribution des terres et des mers à la surface du globe.

La Terre tourne sur elle-même dans le sens de l'ouest à l'est.

Tous ses points effectuent une révolution complète dans une même période de 24 heures ; mais dans cet intervalle de temps, tous ne parcourent pas des chemins égaux et ne se meuvent pas avec la même vitesse. A l'équateur, la vitesse est d'environ 416 lieues par heure ; elle n'est plus que de 273 lieues à la latitude de Paris ; elle descend à 231 sur le 56ᵉ degré, à Édimbourg par exemple ; au pôle même elle est nulle.

L'air qui nous semble en repos à Paris se meut donc en réalité de l'ouest à l'est avec une vitesse de 273 lieues à l'heure. Imaginons que cet air soit transporté sur le 56ᵉ parallèle sans que rien soit changé dans sa vitesse, il continuera de parcourir 273 lieues par heure ; mais chaque point du 56ᵉ parallèle en parcourt seulement 231 ; l'air gagnera donc sur le sol et dans la direction de l'est 42 lieues par heure ! ce qui constitue un véritable ouragan. Un effet inverse aurait lieu si une masse d'air en repos relatif sur le 56ᵉ parallèle était subitement transporté sur le 49ᵉ. Cet air nous semblerait courir de l'est à l'ouest avec une vitesse de 42 lieues.

En réalité ces passages de masses d'air d'un parallèle à l'autre se font toujours d'une manière graduelle, et, pendant leur durée, des résistances de diverses natures tendent à égaliser les vitesses. Les différences affaiblies n'en persistent pas moins ; et comme la grandeur des parallèles diminue d'autant plus rapidement que l'on s'approche davantage des pôles, les effets signalés plus haut sont de plus en plus prononcés à mesure qu'ils se produisent à des latitudes plus élevées. Bien des tempêtes n'ont pas d'autre origine.

Voici donc l'influence de la rotation terrestre sur la direction des alizés :

Considérons d'abord l'alizé du circuit nord. Nous avons supposé qu'il marchait du nord au sud vers l'équateur. Pendant ce mouvement, il passe graduellement sur des parallèles dont les diamètres et par conséquent les vitesses vont en croissant. Si sa vitesse absolue ne change pas, il semblera se transporter vers l'ouest, sa route apparente ira du nord-ouest au sud-est, ce qui est en effet à peu près la direction des alizés de l'hémisphère nord. Pareil résultat sera produit sur l'alizé de l'hémisphère sud, qui semblera également rétrograder vers l'ouest ; mais, comme cet alizé marche du sud vers le nord en s'approchant de l'équateur, sa direction apparente ira du sud-est vers le nord-ouest, ce qui est aussi la direction générale des alizés de l'hémisphère sud.

Lorsque la nappe ascendante, parvenue à une certaine hauteur,

s'étale en deux nappes horizontales pour former les contre-alizés supérieurs, ceux-ci conservent d'abord leur tendance vers l'ouest tout en progressant vers le nord; mais peu à peu ils traversent des parallèles dont la vitesse est graduellement décroissante. Ils prennent bientôt de l'avance vers l'est sur ces parallèles, et leur direction apparente s'incline vers le nord-est. Parvenus à une certaine distance dans le voisinage des tropiques, ils s'abaissent vers le sol; là se reproduit le phénomène signalé dans la nappe ascendante; les contre alizés y pénètrent avec leur vitesse acquise et leur tendance vers l'est; l'inclinaison de leur vitesse dans le sens de la verticale rend cette vitesse moins apparente, et nous retrouvons à ces latitudes deux nouvelles régions dites des *calmes tropicaux*. En marchant de l'équateur vers le pôle nord, nous rencontrons donc : 1° la région des calmes équatoriaux; 2° les alizés du nord-est; 3° les calmes tropicaux; 4° au delà sont les vents variables d'entre sud-ouest et nord-ouest. Une série pareille se rencontre dans l'hémisphère sud.

En résumé, nous trouvons dans chaque hémisphère deux circuits ayant pour base commune la nappe équatoriale ascendante. Le premier, *circuit direct*, est généralement limité aux régions intertropicales; le second, *circuit dérivé*, n'est en réalité qu'une anse prolongée du premier et s'étend des tropiques à une distance variable des pôles. Ces deux circuits se distinguent l'un de l'autre par des caractères essentiels tenant à leurs positions diverses dans l'Atmosphère.

Le circuit direct se développe en hauteur. Tandis que l'alizé rase le sol, le contre-alizé circule dans des régions très-élevées. La distance qui sépare ces deux courants, jointe à la régularité de leurs allures, les empêche d'empiéter l'un sur l'autre et de s'influencer mutuellement dans leur marche. Il n'en est plus ainsi du circuit dérivé. La branche prolongée du contre-alizé y est devenue superficielle; elle rase la surface du sol, le courant de retour se trouve dans le même cas. L'un et l'autre sont donc au même niveau, simplement juxtaposés et séparés l'un de l'autre par la seule action de la rotation terrestre. Il est des points où ces courants se côtoient, et leurs qualités diverses donnent lieu à des perturbations atmosphériques nombreuses et quelquefois redoutables. Leurs lits se déplacent à la surface du globe, et la succession de l'un à l'autre dans un même lieu y produit de brusques variations dans l'état du ciel : telle est en particulier, selon M. Marié Davy, l'origine des vicissitudes de nos climats tempérés. Afin d'éviter la confusion, on ap-

pelle *courant équatorial* la branche du contre-alizé supérieur prolongée dans le circuit dérivé, et *courant polaire* le courant de retour dans le même circuit.

Cette circulation générale de l'Atmosphère est influencée d'une certaine manière par les saisons.

Sur la fin de notre été, les régions environnant le pôle nord ont eu pendant plusieurs mois des jours sans nuits; la température s'y est notablement adoucie et l'air s'y est raréfié. Aux jours sans nuits succèdent bientôt des nuits sans jours, accompagnées de froids d'une extrême rigueur; l'air se contracte et appelle de l'air pour combler le vide formé par le froid. A chacun de ces changements dans notre hémisphère correspond un changement inverse dans l'hémisphère opposé; un transport général de l'Atmosphère a donc lieu chaque année alternativement de l'hémisphère sud à l'hémisphère nord et réciproquement.

L'afflux de l'air vers le pôle nord pendant l'hiver s'effectue par l'intermédiaire des courants équatoriaux, qui acquièrent alors une très-grande ampleur; les perturbations s'y accroissent dans le même rapport : c'est la saison des tempêtes. A mesure que le soleil revient vers nous, que notre atmosphère s'échauffe et se dilate, le courant équatorial se ralentit, il atteint à des latitudes moins élevées. Au contraire, les courants polaires prennent plus d'activité; mais comme ils sont diffusés à la surface de l'Asie, et même de l'Europe, leur vitesse est rarement très-grande; l'été est la saison des calmes pour notre hémisphère. Les troubles atmosphériques de cette saison sont limités à de faibles étendues, et leur gravité toute locale est empruntée à des phénomènes électriques d'une nature toute spéciale: c'est la saison des orages.

Les courants équatoriaux ont à leurs extrémités polaires des directions parallèles à l'équateur et marchent de l'ouest à l'est. Malgré leurs variations d'amplitude et d'intensité, on comprend qu'ils aient fini par imprimer à l'atmosphère des pôles un mouvement de rotation continu dans le sens de la rotation terrestre.

Pendant plusieurs siècles, les alizés furent une énigme pour les météorologistes et les navigateurs. Halley et Hadley proposèrent les premiers l'explication que nous venons de développer, et que les observations contemporaines ont peu modifiée depuis le siècle dernier.

La figure suivante montre le cours et la direction des alizés de l'Atlantique : on y reconnaît au premier coup d'œil l'influence des saisons et celle des continents. En février et mars, l'hémisphère

sud est dans la saison d'été; la température y est à son maximum, ou s'en trouve peu éloignée. En août et septembre, le nord de l'Afrique arrive à son tour vers la fin de son été; c'est là que la force d'aspiration a son maximum.

Entre les deux alizés, on reconnaît deux zones faiblement teintées : ce sont les zones des calmes équatoriaux. Ces calmes occupent des positions très-différentes à la fin de l'hiver et de l'été; ils suivent, en effet, mais de loin, la marche du soleil entre les tropiques. Jamais ils ne franchissent l'équateur à la surface de l'Atlantique. En février et mars, mois où ils s'en approchent le plus près, l'alizé du N. E. s'arrête vers le 4ᵉ degré de latitude nord en

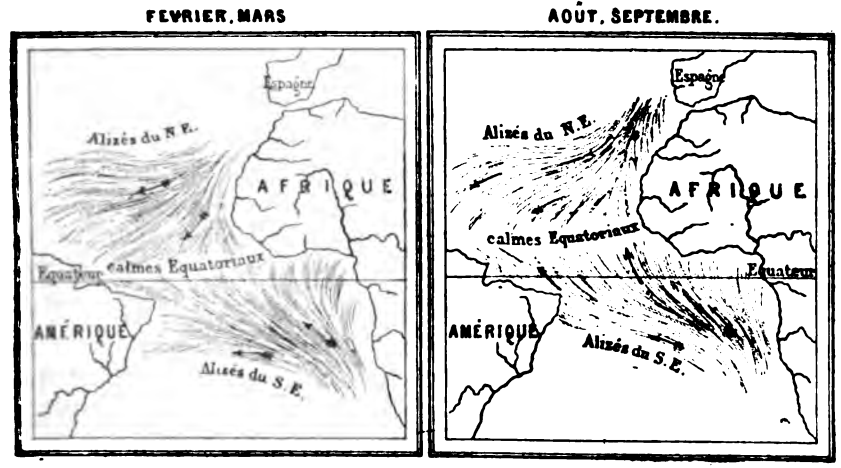


Fig. 142. — Vents alizés de l'Atlantique.

moyenne; en août et septembre, mois où ils s'en éloignent le plus, le même alizé s'arrête vers le 11ᵉ degré.

A mesure qu'un navire, dans l'océan Atlantique, se rapproche de l'équateur, une certaine anxiété saisit l'équipage; car il sait qu'au premier moment le vent favorable qui les a poussés jusqu'ici faiblira de plus en plus, pour s'évanouir enfin complétement. La mer s'étend autour d'eux, semblable à une glace sans fin, et le bâtiment, qui dans sa course rapide égalait le vol des oiseaux, est cloué pour ainsi dire sur le cristal limpide. Les rayons solaires tombent verticalement sur l'espace étroit où ces hommes sont renfermés.

Le soleil qui, deux fois par an, donne d'aplomb sur ces régions, ne s'éloigne jamais assez pour qu'un refroidissement puisse avoir lieu. L'Atmosphère échauffée y devient tellement légère qu'elle se

trouve douée d'un mouvement ascendant continuel. Il s'évapore en même temps de l'océan Atlantique et de l'océan Pacifique une quantité incommensurable d'eau qui se répand dans l'air embrasé et s'élève avec lui. Mais à mesure que l'air monte vers les hautes régions, il se refroidit de plus en plus, et parfois très-brusquement, de sorte qu'une grande partie de l'eau qu'il avait enlevée se transforme en gouttes. Ces changements subits produisent des tempêtes passagères, fréquentes dans les régions équinoxiales.

Nous venons de voir qu'à mesure que le vent se rapproche des zones tempérées sur lesquelles il va retomber en les refroidissant, le courant supérieur rencontre des couches d'air animées d'une moindre vitesse dans le sens du mouvement diurne. Il en résulte que le retour des vents alizés donne lieu dans les zones tempérées à un vent qui souffle du sud-ouest pour l'hémisphère boréal, et du nord-ouest pour l'hemisphère austral. Ainsi en France, par exem-

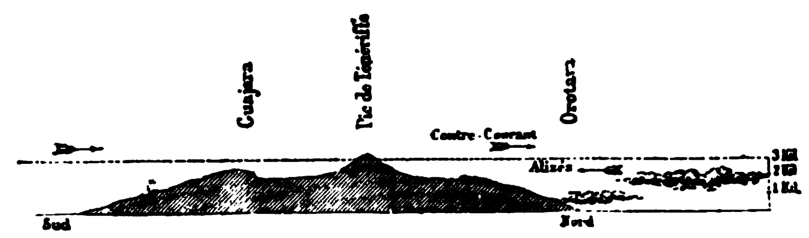


Fig. 143. — Le contre-courant alizé supérieur au sommet du Ténériffe.

ple, le vent souffle plus souvent du sud-ouest que de toute autre direction. Dans le temps des discussions sur le mouvement réel de la Terre, les coperniciens présentaient les vents alizés comme une preuve du mouvement de rotation diurne, d'occident en orient. C'était pour eux une simple illusion. Entraîné par le mouvement de notre globe, l'observateur aurait quitté l'air atmosphérique qui, dès lors, aurait semblé produire un vent soufflant en sens contraire, ou de l'orient à l'occident. Mais nous venons de voir que c'est la combinaison des vitesses différentes, d'une part, des couches d'air déplacées par suite des différences de température des divers points du globe, et d'autre part, des couches atmosphériques entraînées dans le mouvement diurne, qui produit réellement les vents alizés. La théorie du mouvement de la Terre n'a pas besoin de cette prétendue preuve météorologique.

On a directement constaté l'existence du contre-courant supérieur. Le capitaine Basil Hall a observé que dans la région des vents alizés les nuages très-élevés marchent constamment dans

une direction opposée à celle du vent inférieur. Le même voyageur trouva, dans le mois d'août 1820, au sommet du pic de Ténériffe, un vent du sud-ouest, c'est-à-dire, un vent diamétralement opposé au vent alizé qui soufflait à la surface de la terre. C'est ce que montre la figure précédente. Le 22 juin 1799, lors de l'ascension que Humboldt fit sur la même montagne, il régnait sur le sommet un vent d'ouest très-violent.

Voici une autre preuve de l'existence de ce même contre-courant des vents alizés, déduite de la chute, à la Barbade, des poussières lancées par le volcan de l'île de Saint-Vincent :

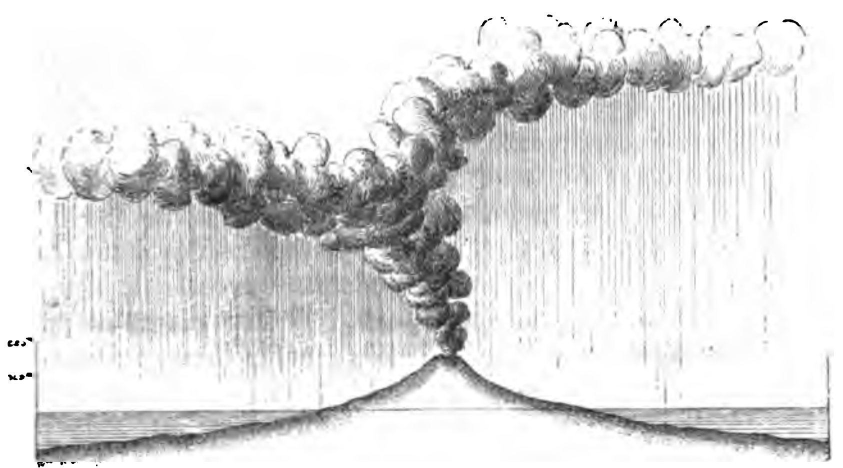


Fig. 144. — Cendres du Morne-Garou, transportées par l'alizé supérieur.

Dans la soirée du 30 avril 1812, on entendit pendant quelques instants, à l'île de Barbade, des explosions semblables aux décharges de plusieurs pièces de gros calibre : la garnison du château Sainte-Anne resta sous les armes toute la nuit. Le lendemain matin, 1er mai, l'horizon de la mer, à l'orient, était clair et bien défini ; mais immédiatement au-dessus on apercevait un nuage noir qui couvrait déjà le reste du ciel, et qui même, bientôt après, se répandit dans la partie où commençait à poindre la lumière du crépuscule. L'obscurité devint si épaisse, que dans les appartements il était impossible de distinguer la place des fenêtres, et qu'en plein air plusieurs personnes ne purent voir ni les arbres à côté desquels elles se trouvaient, ni les contours des maisons voisines, ni même des mouchoirs blancs placés à 15 centimètres des yeux. Ce phénomène était occasionné par la chute d'une grande quantité de poussière volcanique provenant de l'éruption d'un volcan de l'île de Saint-Vincent. Cette pluie d'un nouveau genre, et l'obscurité profonde qui en était la conséquence, ne cessèrent entièrement qu'entre midi et 1 heure. Les arbres d'un bois flexible ployaient sous le faix ; le bruit que les branches des autres arbres faisaient en se cassant contrastait d'une manière frappante avec le calme parfait de l'atmosphère ; les cannes à sucre furent totalement renversées : enfin toute l'île se trouva couverte d'une couche de cendres verdâtres qui avait 3 centimètres d'épaisseur.

Saint-Vincent est à 80 kilomètres à l'occident de la Barbade, et son volcan avait

projeté cette immense quantité de poussière jusqu'à la hauteur à laquelle régnait le courant supérieur, courant assez puissant lui-même pour effectuer ce transport.

Le 20 janvier 1835, tout l'isthme de l'Amérique centrale ressentit la secousse du tremblement de terre qui accompagna l'éruption du volcan de Coseguina, sur le lac de Nicaragua. Les détonations furent entendues de la Jamaïque située à 200 lieues dans le nord-est de Nicaragua, et même à Bogota qui en est éloignée de plus de 350 lieues. Union, port de mer de la côte ouest de la baie de Conchagua, fut enveloppé d'une obscurité complète pendant 43 heures. Des cendres tombèrent à Kingston et dans d'autres parties de la Jamaïque dont lès habitants purent savoir ainsi que les détonations qu'ils avaient entendues n'étaient pas des coups de canon.

Pour qu'une aussi grande quantité de cendres ait pu être lancée par des mornes bas, comme Morne-Garou et Coseguina, jusque dans la région de l'alizé de retour, il a fallu que les éruptions atteignissent un degré de violence extraordinaire.

C'est Halley qui, le premier, affirma l'existence de l'alizé supérieur comme conséquence de l'alizé ordinaire. Sans avoir encore de preuves directes du fait avancé par lui, il en trouvait la certitude dans la rotation presque instantanée du vent à des directions opposées, lorsque l'on traverse les limites polaires des alizés. Pour Halley comme pour tous les météorologistes actuels, le courant équatorial du S. O. qui règne aux latitudes moyennes de notre hémisphère n'est, en effet, que la continuation d'une fraction de notre alizé supérieur de retour.

La branche supérieure du circuit intertropical est, à son origine équatoriale, à un niveau si élevé qu'on n'a pas pu constater son existence avec certitude, en montant sur les pics les plus hauts des Cordillères dans le voisinage de la région des calmes. Mais, comme cette branche s'abaisse progressivement vers la surface du globe, à mesure qu'elle s'avance vers les tropiques, et que, d'un autre côté, elle parcourt dans sa route des régions de moins en moins chaudes, quelques nuages apparaissent dans l'air qu'elle entraîne : ce sont autant de témoins servant à constater sa direction.

L'existence des alizés fut reconnue dès le premier voyage de Christophe Colomb. Les vents réguliers qui poussaient ce hardi navigateur dans la route nouvelle par laquelle il voulait arriver dans l'Inde, excitèrent la terreur de ses compagnons, en leur faisant craindre l'impossibilité du retour en Europe. Si après la découverte du nouveau monde que Colomb rencontra au lieu de l'Inde qu'il croyait atteindre, cet intrépide marin n'eût pas cherché à éviter les vents alizés, en se dirigeant au nord avant de tourner à l'ouest, nul doute qu'il ne serait pas revenu en Espagne. Avec ses

navires à la fois mal approvisionnés, et d'une construction défectueuse qui leur donnait une mauvaise marche, il eût, ainsi que ses équipages, péri par le manque de vivres dans l'immense région de l'alizé.

C'est de la lutte de ces deux courants, c'est du lieu où le courant supérieur retombe et atteint la surface, c'est de leur pénétration réciproque que dépendent les plus importantes variations de la pression atmosphérique, les changements de température dans les couches d'air, la précipitation des vapeurs aqueuses condensées, et même, comme Dove l'a montré, la formation et les figures variées que prennent les nuages. La forme des nues qui donne aux paysages tant de mouvement et de charme, nous annonce ce qui se passe dans les hautes régions de l'Atmosphère; quand l'air est calme, les nuages dessinent sur le ciel d'une chaude journée d'été « l'image projetée » du sol dont le calorique rayonne abondamment vers l'espace.

Dans le grand Océan et l'océan Atlantique, les alizés s'étendent à peu près jusque vers les tropiques; mais, dans la mer des Indes, la présence des terres s'oppose à l'établissement de vents réguliers ou alizés; tandis que dans l'hémisphère sud, à une certaine distance des terres, l'alizé S. E. règne presque constamment, dans l'hémisphère nord de l'océan Indien il règne un vent S. O., dirigé vers la péninsule de l'Hindoustan, le nord de l'Inde et la Chine, depuis avril jusqu'en octobre; et, depuis octobre jusqu'en avril, un vent contraire a lieu et règne du N. E. au S. O. : ces vents sont les *moussons* de l'océan Indien. Ce mot est dérivé du malais *moussin*, qui veut dire saison. Ainsi, pendant l'été de notre hémisphère, lorsque le soleil a ses déclinaisons boréales, c'est la mousson S. O. qui règne seule; tandis que dans notre hiver, lorsque le soleil a ses déclinaisons australes, c'est la mousson N. E. qui prend naissance. Ces vents pénètrent dans l'intérieur des continents, où ils sont influencés par la forme des terres. Les chaînes de montagnes tendent en général à faire glisser les masses gazeuses parallèlement à leur direction. Voici l'explication de ces vents périodiques.

En janvier, la température de l'Afrique méridionale est à son *maximum*, celle de l'Asie à son *minimum*. La partie septentrionale de l'océan Indien est plus chaude que le continent, mais moins chaude que la partie méridionale du même océan à latitude égale. Nous trouverons donc, dans l'un et l'autre hémisphère, des vents d'E. dirigés vers les points les plus échauffés. D'octobre en avril

l'alizé du S. E. règne dans l'hémisphère austral; l'alizé du N. E. souffle dans l'hémisphère opposé, et il prend le nom de *mousson* de N. E.; entre deux est la région des calmes. Quand le soleil s'avance vers le nord, la température du continent et celle de la mer tendent à s'équilibrer: aussi, vers l'équinoxe du printemps n'y a-t-il plus de vents régnants dans l'hémisphère boréal, mais des vents variables alternant avec des calmes plats et des ouragans; tandis que la *mousson* de S. E. règne pendant toute l'année dans l'hémisphère sud. A mesure que la déclinaison boréale du soleil augmente, la température de l'Asie s'élève plus que celle de la mer, tandis qu'elle baisse dans la Nouvelle-Hollande et dans l'Afrique méridionale. La position relative des deux continents dont les différences de température sont les plus marquées, et le mouvement de rotation de la Terre organisent ainsi un courant du S. O., mousson qui règne depuis le mois d'avril jusqu'en octobre. Ainsi, tandis que dans l'hémisphère austral l'alizé de S. E. règne pendant toute l'année, on trouve au nord de l'équateur la mousson de N. E. en hiver, celle de S. O. en été.

Nous venons d'indiquer sommairement la direction générale de ces vents. Déjà dans l'antiquité la plus reculée ils favorisaient les communications alors si fréquentes entre l'Inde et l'Égypte. A la décadence de cet empire, ces rapports cessèrent, la tradition de ces vents se perdit; car, s'ils avaient été connus, Néarque n'aurait pas fait une navigation si longue et si pénible depuis les bouches de l'Indus jusqu'au fond du golfe Persique.

On trouve dans bien des parages des vents périodiques, qui alternent avec les saisons, et qui sont influencés par la conformation des côtes; ainsi, par exemple au Brésil, il y a une mousson du printemps N. E. et une mousson S. O. d'automne. La Méditerranée a ses moussons, connues déjà des anciens, qui avaient indiqué leur dépendance des saisons par la dénomination de *vents étésiens* (Ἔτος, année, saison). Au sud du bassin méditerranéen s'étend l'immense désert de Sahara. Dépourvu d'eau, composé uniquement de sable ou de cailloux roulés, il s'échauffe fortement sous l'influence d'un soleil presque vertical, tandis que la Méditerranée conserve sa température habituelle. Aussi, en été, l'air s'élève au-dessus du désert de Sahara avec une grande rapidité et s'écoule surtout vers le nord, tandis que dans le bas on a des vents de nord qui s'étendent jusqu'en Grèce et en Italie. Dans le nord de l'Afrique, au Caire, à Alexandrie, on ne trouve que des vents de nord. Tous les navigateurs savent qu'en été la traversée

d'Europe en Afrique est plus prompte que le retour. Ainsi, si l'on compare la demi-moyenne des traversées d'aller et retour entre Toulon et Alger, on trouve que la traversée de retour est plus longue d'un quart pour un navire à voiles, et d'un dixième pour un navire à vapeur. Cet effet ne peut être attribué aux courants qui sont très-faibles. Ensuite, tout le versant nord des îles Majorque et Minorque, et surtout de cette dernière, est balayé par ce même vent, qui y occasionne un rabougrissement très-sensible de la végétation. Ces vents dominent à Alger, à Toulon et à Marseille. En hiver, au contraire, où le sable rayonne fortement, l'air du désert est plus froid que celui de la mer, et en Égypte, on sent un vent de sud très-froid, mais infiniment moins fort que les vents du nord en été. (Kaëmtz et Martins.)

Aux vents périodiques réguliers que nous venons d'étudier, aux alizés et aux moussons, nous pouvons ajouter les *brises* déterminées au bord des mers par l'inégalité de l'échauffement de la terre et de l'eau. Nous les avons signalées au commencement de ce chapitre comme produites par la chaleur solaire, par la même cause que les alizés.

On observe aussi des déplacements d'air périodiques diurnes dans les pays des montagnes ; ils consistent en une brise glissant le long de la montagne pendant la nuit, et en une brise ascendante dans le jour. Ces déplacements sont extrêmement variés en raison même de la configuration et de l'orientation des montagnes.

Entre toutes les causes que l'on assigne aux vents, l'une des plus puissantes est, sans aucun doute, la prompte condensation des vapeurs dans le sein de l'Atmosphère. On voit quelquefois tomber 27 millimètres d'eau en une heure sur une grande étendue de pays, particulièrement dans les régions équatoriales. Or, supposons seulement que cette étendue soit de dix lieues de côté, ou de cent lieues carrées. Si la vapeur qui est nécessaire pour produire 27 millimètres sur cent lieues carrées, était dans l'air à l'état élastique, et seulement à 10° de température, elle occuperait un espace cent mille fois plus grand qu'à l'état liquide, c'est-à-dire qu'elle occuperait un espace de cent lieues carrées sur 2 700 000 millimètres, ou 2700 mètres de hauteur. Telles seraient donc les dimensions du vide qui résulterait de cette condensation. A la vérité, la vapeur n'est pas à l'état élastique, elle est à l'état vésiculaire ; mais, par cela seul qu'elle reste suspendue dans l'Atmosphère, elle a probablement une densité moindre qu'à l'état liquide, et sa condensation en gouttes de pluie produit encore un vide immense qui

ne peut se remplir sans exciter une grande secousse atmosphérique.

La circulation constante entretenue dans l'Atmosphère rend impossible qu'en un endroit quelconque une des substances nécessaires à la vie des organismes, telles que l'oxygène, les vapeurs aqueuses, etc., soient entièrement consommées, ou qu'une substance délétère, telle que l'acide carbonique, s'y accumule en quantité dangereuse : l'existence de la nature animée est intimement liée à cette circulation.

Ces traits simples semblent au premier abord ne pas s'appliquer au jeu en apparence si capricieux du temps, et ne pas esquisser tel qu'il est ce type de la versatilité et de l'inconstance. Le temps n'en est pas moins variable, dans nos climats surtout, comme nous allons le voir. Nous pouvons partager la surface du globe en deux moitiés inégales : la région du temps constant et celle du temps variable. Aussi loin que s'étend l'influence des vents alizés, on peut prédire la disposition de l'air, même pour plusieurs années à venir. La zone moyenne (comprise entre le 2° et le 4° lat. N. et S.) est celle où pendant toute l'année sans interruption de fortes chaleurs et des calmes alternent avec des averses et des tempêtes nocturnes. A côté d'elles, vers le nord comme vers le sud, vient une autre zone (4° à 10° lat.) où cet état de choses ne se présente qu'en été ou en hiver, et le vent alizé amène un ciel serein. Vient ensuite une troisième (10° à 28° latitude N.) où, en hiver comme en été, les vents alizés n'amènent pas la moindre humidité, où des années se passent sans qu'une petite pluie passagère vienne rafraîchir la terre.

Enfin, une dernière zone au nord et au sud (de 20° à 30° lat.) forme la limite du temps constant ; là, les vents alizés déterminent un été sans pluie et un hiver doux et pluvieux, toutefois la pluie n'y est pas toujours continuelle. L'indication approximative des latitudes se rapporte à l'hémisphère boréal et à l'océan Atlantique, le seul endroit où des observations sûres ont été recueillies.

Maintenant, nous sommes en présence d'une zone de 24 degrés de latitude, où les luttes entre le courant polaire et le courant équatorial occasionnent un climat variable qui ne nous paraît capricieux et accidentel que parce que les circonstances, dont dépend la prédominence, dans une localité donnée, de l'un ou de l'autre des deux courants, sont compliquées au point que nous n'ayons pu déduire, de nos différentes observations, une loi capable de régir ces modifications. Si nous approfondissons la ques-

tion, nous trouvons, d'après ce que nous venons de dire, qu'il n'y a, en réalité, que deux vents dans l'Atmosphère : celui qui souffle des pôles vers l'équateur, et celui qui revient de l'équateur pour se rendre aux pôles. Prenons maintenant un endroit situé dans la région du temps variable, par exemple, les latitudes de Paris, Londres, Vienne, et admettons, en outre, que cet endroit soit situé exactement dans la direction du courant polaire. Lorsque le vent du nord y souffle, le froid se fait sentir, le ciel s'éclaircit et reste serein, lors même que le vent déviant peu à peu de sa direction tourne à l'est. (L'air polaire qu'il nous amène, remarque Schleiden, est des plus dangereux aux poitrinaires, à cause de sa grande siccité et de son abondance en oxygène.) Le vent d'est souffle aussi longtemps qu'aucun autre ne vient le relever ; mais il n'y en a pas d'autre qui puisse le faire, si ce n'est le courant équatorial qui arrive comme vent du sud. Le choc produit par leur rencontre a pour résultat immédiat de donner naissance à des directions intermédiaires des vents S. E., dont l'air chaud et humide, étant refroidi par le courant polaire, est forcé de céder une partie de son eau sous forme de nuages, de neige ou de pluie. Peu à peu le courant équatorial prend le dessus, le temps s'éclaircit, s'échauffe et se maintient de la sorte avec un vent du midi qui, insensiblement, se dirige vers l'ouest. Il n'y a que le courant polaire qui, à son tour, puisse le relever; leur mélange, passant au nord-ouest, produit d'abondants précipités atmosphériques. Ce sont ces jours froids et humides qui incommodent tant les personnes nerveuses. Les choses continuent à marcher ainsi et toujours dans le même ordre. L'étude de ces vents variables fera l'objet du chapitre III.

Chose étonnante, cette zone variable, que l'on serait tenté de regarder comme la plus défavorable au développement du genre humain, embrasse presque en entier l'Asie moyenne, l'Europe, l'Amérique septentrionale et la côte septentrionale de l'Afrique ; par conséquent, elle comprend tout le théâtre sur lequel se meut l'histoire de l'humanité et de son développement intellectuel. Peut-être y a-t-il une connexion secrète entre ce phénomène et le développement spécial du monde végétal de cette région.

Nous venons de tracer une esquisse de la répartition du temps à la surface du globe ; cette esquisse est modifiée par bien des causes. L'élévation des pays au-dessus du niveau de la mer, les plaines et les montagnes, les déserts sablonneux et les forêts, etc., apportent de grandes perturbations dans ces lois.

Parmi les influences qui modifient la répartition du temps, une des plus importantes est la distribution de terre et d'eau à la surface du globe terrestre. La terre exposée aux rayons solaires se réchauffe plus vite, et prend, dans un temps donné, une température plus élevée que l'eau qui, en revanche, une fois échauffée, se refroidit beaucoup plus lentement. La première conséquence est que la zone la plus chaude, la région des calmes, n'occupe pas une étendue égale au nord et au sud de l'équateur; mais, au contraire, occupe une plus grande étendue dans l'hémisphère septentrional. Nous avons déjà remarqué, et nous constaterons mieux encore tout à l'heure, l'influence de la distribution des eaux et des terres dans nos climats.

Nous avons vu que la chaleur et sa répartition inégale dans toutes les directions est le phénomène fondamental autour duquel se groupent les autres et dans une grande dépendance. L'humidité de l'air a une corrélation intime avec ce phénomène, et celle-ci, unie à la chaleur, sont les raisons d'être de la vie végétale. C'est à ces deux conditions que se rattache en grande partie la distribution des plantes à la surface du globe. Le monde animal suit les plantes, car à l'existence des herbivores se lie directement celle des carnivores. Le premier principe suprême, celui qui, non-seulement vivifie, mais excite et règle tout, c'est le Soleil; ses rayons brûlants sont les burins dont il se sert pour tracer les lumières et les ombres, le jaune ardent du sable aride et le vert rafraîchissant des prairies, et à l'aide desquels il dessine la géographie des plantes et des animaux, et trace même l'esquisse d'une carte ethnographique pour le genre humain.

L'empereur Aurélien disait que « de tous les dieux que Rome avait empruntés aux nations vaincues, aucun ne lui paraissait plus digne d'adoration que le Soleil; » et nous disons que de toutes les formules d'adoration du paganisme, celle du Parsi est la plus sublime, lorsqu'il attend le matin, sur les bords de la mer, la réapparition de l'astre du jour; lorsque, aux premiers rayons qui vacillent sur les ondes de l'élément humide, il se jette la face contre terre et adore en priant le retour du principe vivifiant qui anime tout. (Schleiden.)

CHAPITRE II.

LES COURANTS DE LA MER.

MÉTÉOROLOGIE DE L'OCÉAN. — ROUTES MARITIMES. — LE GULF-STREAM.

Nous venons de voir que la distribution de la chaleur solaire à la surface du globe détermine dans l'Atmosphère une circulation générale régulière. Dans le chapitre prochain, nous constaterons que les vents irréguliers et variables de nos climats sont également dus à cette chaleur et soumis à des lois de périodicité que la science étudie. Mais avant de quitter les grands courants de l'Atmosphère, il importe que nous prenions une idée sommaire des grands courants de la mer, déterminés aussi par l'action de cette même chaleur qui régit tout ici-bas.

La mer n'est pas immobile; ni ses eaux, ni l'atmosphère qui repose sur elles. Une grande oscillation générale de la surface s'accomplit deux fois par jour sous l'influence attractive de la Lune et du Soleil : ce sont les marées, dont le flux et le reflux couvrent et découvrent tour à tour les plages de l'Océan, et donnent aux rivages la mobilité toujours changeante qui nous y attire sans fin. Ce mouvement des eaux est dû à une cause astronomique, et nous n'avons pas à nous en occuper ici. Mais la mer est animée d'une autre circulation météorologique, plus complexe et plus déliée, que l'on pourrait presque comparer à la circulation du sang chez les êtres vivants : elle est traversée de courants qui, dirigés de l'équateur aux pôles et des pôles à l'équateur, et ralliant entre elles les mers les plus lointaines, distribuent la chaleur parmi les régions froides, ramènent l'eau froide vers les régions torrides, égalisent la salure et la composition chimique de l'Océan, et forment en quelque sorte le circuit vital du globe, comme la sève qui monte et descend dans les plantes, comme le sang qui se régénère au cœur après avoir porté ses tributs dans les parties lointaines de l'organisme.

Ces courants de la mer méritent notre attention spéciale ici, et notre étude va embrasser en même temps les courants de l'Atmosphère qui les accompagnent et les complètent en constituant la météorologie de l'Océan. Les uns et les autres

ont été, depuis trente ans surtout, l'objet des observations minutieuses de la marine.

L'industrie des transports maritimes se distingue, au premier abord, de l'industrie des transports terrestres, par l'absence de routes. Pendant longtemps, en effet, les navigateurs modernes n'ont pas soupçonné qu'il existe à la surface de l'Océan de nombreuses routes ouvertes par la nature. La constance des moussons, le retour périodique de ces brises marines le long des côtes de la mer Rouge et dans la mer des Indes, sont des phénomènes que les anciens avaient connus et utilisés. Quand l'astronome Hippale découvrit le fait physique du renversement de la mousson d'été, les marins arabes en tiraient profit depuis plusieurs siècles déjà, notamment pour conserver le monopole du commerce des épices et des parfums de Ceylan qu'ils vendaient comme épices et parfums de l'Arabie. La découverte d'Hippale amena une véritable révolution dans les transports maritimes chez les Européens qui vivaient au commencement de notre ère. C'est une amélioration analogue, mais sur une échelle beaucoup plus vaste, qui a été réalisée de nos jours par les travaux du commandant Maury, directeur de l'Observatoire national de Washington. A cause de leur immense intercourse et de la position géographique de leur pays, qui s'appuie sur les deux plus grands océans, les Américains étaient plus intéressés qu'aucun autre peuple, à trouver les routes maritimes les plus courtes. Pour cela, il fallait comparer entre elles des milliers de routes, suivies par des millions de navigateurs. Cet immense travail a permis de faire pour le globe entier ce qu'Hippale avait fait pour la petite distance qui sépare l'Égypte de la Taprobane.

Les grands navigateurs des siècles précédents semblaient avoir tracé les seules voies à suivre, sans que l'on songeât à y introduire les modifications auxquelles eût pu conduire l'étude comparative des données de l'expérience. Mais lorsque l'application de la vapeur aux moyens de transport eut montré les avantages des échanges rapides entre les nations et mieux fait comprendre la valeur du temps, l'attention se porta naturellement vers la discussion des meilleures routes et vers les moyens de les fixer rationnellement. Un navire à vapeur, négligeant les vents, peut tracer sur la sphère la ligne la plus directe et la plus courte, entre son point de départ et son point d'arrivée; mais pour le navire à voile soumis aux courants aériens qui constituent ses seuls moyens de progression, la ligne la plus courte en étendue devient souvent la plus longue à parcourir. Trouver la plus grande somme possible de vents favorables sans trop s'écarter de la route la plus directe est le moyen le plus sûr de donner à la traversée son minimum de durée.

Les observations faites à la surface des mers par les navigateurs ont été pendant longtemps perdues sans profit pour la science et la navigation. Réunies entre les mains de Maury, elles ont conduit en quelques années à la connaissance de la circulation générale de l'Atmosphère et des mers. En même temps elles ont permis de diminuer d'un quart et quelquefois d'un tiers ou même de moitié la durée des grandes traversées, et de réaliser annuellement une économie immense dans le prix des transports maritimes.

Pour éveiller l'attention publique par un résultat capable de faire sentir toute l'importance pratique des études nouvelles, il concentra tous ses efforts sur une seule traversée, celle des États-Unis à Rio-Janeiro Les données qu'il put réunir lui permirent de déterminer une route singulièrement plus courte et plus avantageuse que celle suivie jusqu'alors par la masse des navigateurs. Le navire *Wright*, capitaine Jackson, de Baltimore, fut le premier à suivre les indications de Maury. Parti le 9 février 1848 de Baltimore, ce navire coupait la ligne équatoriale au bout de 24 jours, tandis que cette traversée en exigeait d'ordinaire 41.

Cette route des États-Unis à l'équateur est d'autant plus importante qu'elle est commune à tous les navires qui se rendent des États-Unis dans l'hémisphère austral, que leur destination définitive fût le Pacifique, la mer des Indes ou l'Atlanti-

que. De 41 jours, cette traversée avait été du premier coup ramenée à 24; elle fut ensuite faite en 20 jours, puis en 18. C'est un gain de 50 pour 100.

La traversée des États-Unis en Californie exigeait en moyenne plus de 180 jours; à partir du moment où Maury en fit l'objet de ses études, elle fut ramenée d'abord à 135 jours; puis ce résultat lui-même se perfectionna si bien à son tour, qu'aujourd'hui nombre de clippers sont arrivés à un chiffre de 100 jours, et même l'un d'eux, *le Flying-Fish*, venant de New-York, a mouillé sur rade de San-Francisco le 92e jour.

Mais l'exemple le plus remarquable est fourni par la traversée d'Australie. D'Angleterre à Sydney, un navire guidé par les anciennes instructions ne mettait naguère encore pas moins de 125 jours : c'était la moyenne ordinaire de l'année. Le retour était d'une durée à peu près égale, en sorte que le voyage total était d'environ 250 jours. Lorsque Maury passa en Angleterre, à l'occasion du congrès de Bruxelles, il promit aux marins et aux négociants anglais, pour prix de leur concours à son entreprise, de diminuer au moins d'un mois la traversée d'Australie et d'apporter une réduction encore plus considérable à la traversée de retour : c'eût été simplement supprimer le quart de la distance qui sépare l'Angleterre de sa riche colonie. Un peu plus tard, les notions sur cette route s'étant complétées, Maury signala hautement aux marins l'immense avantage qu'il y avait à faire du voyage d'Australie une véritable circumnavigation du globe, c'est-à-dire à doubler le cap de Bonne-Espérance en venant d'Europe, pour opérer ensuite leur retour par le cap Horn. L'ensemble de ces deux traversées, ce tour du monde, disait-il, s'effectuerait en 130 jours et même moins, au lieu des 250 nécessaires auparavant. La prédiction de Maury a été accomplie et même dépassée. L'économie a encore été de 50 pour 100.

Évaluons en argent cette économie de temps :

Le prix du fret pour la traversée d'Australie est d'environ 1 fr. par tonneau (1000 kilogrammes) et par jour. Admettons que le tonnage moyen des navires engagés sur cette ligne soit seulement de 500 tonneaux (il est en réalité de 700), et ne faisons entrer en ligne de compte qu'une réduction de 30 jours sur la traversée afin de rester au-dessous de la réalité. Il résultera de là que chaque navire aura réalisé dans son trajet une économie nette de 15 000 fr. Si nous estimons maintenant avec Maury à 1800, sans distinction de pavillon, le nombre des navires se rendant annuellement des ports de l'Atlantique nord en Australie, nous aurons à la fin de l'année pour ce commerce un bénéfice évident de 25 millions de francs.

Pour le seul commerce anglais, dans les mers de l'Inde, l'économie annuelle est de 8 à 10 millions. Pour l'ensemble des marines et des diverses traversées, cette économie dépasse certainement 100 millions par année en moyenne.

Plus la distance à parcourir est grande, plus il y a d'avantage à s'écarter de la ligne directe pour aller chercher des parages où les brises continues donneront au navire les plus grandes vitesses. Ainsi, d'une manière générale, si l'on veut aller avec la voile dans le sens de l'est à l'ouest, c'est dans la région intertropicale que l'on fera le plus de chemin en un temps donné. Il faudrait au contraire aller au delà des tropiques, au nord et au sud, pour marcher vite dans le sens de l'ouest à l'est.

Chaque jour de retard dans l'arrivée d'un navire de commerce au delà de l'époque présumée, ou de la moyenne des traversées, est non-seulement une cause de contrariétés plus ou moins grandes pour les passagers dont la santé, la vie même peut en dépendre; c'est aussi une cause de perte pour l'armateur et le négociant. L'entretien d'un grand navire, faisait remarquer l'amiral Fitz-Roy (solde, frais, provisions, matériel), avec une cargaison complète et son complément de passagers, varie de 50 à 200 livres sterling (de 1250 à 5000 francs) par jour; de plus, à ces dépenses immédiates il faut ajouter la diminution des bénéfices annuels résultant du délai forcé de son prochain départ. Le préjudice causé par une longue

traversée est donc de nature complexe, affectant les intérêts des armateurs et ceux du public, en général.

Le progrès que les *Sailing directions* ont réalisé dans l'industrie des transports maritimes équivaut donc à celui qui eût été obtenu par l'adjonction d'une force motrice nouvelle : voici effectivement un navire qui, en suivant les anciennes routes, restait éloigné du port pendant cent jours ; il suit maintenant les routes nouvelles, et son absence ne dure plus que cinquante jours : c'est donc comme s'il avait été muni d'un engin de traction assez puissant pour doubler sa vitesse. Ces heureuses conséquences ont entraîné l'adhésion universelle. Dans une conférence tenue à Bruxelles en 1853, les États-Unis, la France, l'Angleterre, la Russie, la Suède et la Norvége, le Danemark, la Hollande, la Belgique, le Portugal, ont arrêté un plan uniforme d'observations météorologiques à la mer, et ce plan a été bientôt adopté par la Prusse, l'Autriche, l'Espagne, l'Italie et le Brésil. Depuis cette époque, chacun des bâtiments de long cours de ces quatorze puissances est devenu un observatoire flottant qui enregistre nuit et jour tous les faits de navigation susceptibles de conduire à une connaissance complète des mouvements de l'atmosphère et de la mer.

C'est grâce à ces travaux et au grand développement qu'ont pris depuis quelques années les observations météorologiques, que nous pouvons, dans le chapitre précédent comme dans le suivant, donner une esquisse générale de la ***distribution des vents à la surface de la Terre.***

Considérons maintenant la circulation des eaux produite par cette même influence de la chaleur solaire.

Tout le monde connaît la division des mers, d'abord en trois grands océans, savoir : 1° l'océan Atlantique, qui sépare l'Europe et l'Afrique des Amériques ; 2° l'océan Pacifique, qui couvre la moitié du globe entre les deux Amériques d'une part, et de l'autre, l'Asie orientale et la Nouvelle-Hollande, avec l'archipel placé entre deux ; 3° enfin le petit océan qui porte le nom de mer des Indes, lequel est presque tout entier au-dessous de l'équateur, entre l'Afrique, l'Asie et la Nouvelle-Hollande.

Si l'on divise en deux, au nord et au sud de l'équateur, chacun des deux grands océans, et si l'on tient compte des deux mers polaires, on aura en tout sept divisions, dans lesquelles on pourra étudier le mouvement des eaux chaudes ou froides, leur déversement de l'équateur vers les pôles, et leur retour vers leur point de départ. C'est à ce mouvement que sont dus, dans la mer universelle, des courants d'eaux chaudes ou d'eaux froides, dont le déplacement majestueux et lent et la température plus ou moins élevée donnent naissance à des effets bien autrement importants dans l'économie des climats que ne pourraient le supposer, au premier abord, ceux qui ne connaissent le globe que par les cartes géographiques ordinaires.

Analysons et apprécions ces courants si importants, en prenant pour exemple le circuit que forment les eaux dans l'océan Atlantique du nord, qui nous est le mieux connu, et que sillonnent continuellement les navires qui vont de l'Europe à l'Amérique du Nord et à l'Amérique centrale, et qui en reviennent.

Dans les régions équatoriales, les eaux de l'océan sont poussées à l'ouest par un mouvement incessant qui, dans l'Atlantique, les porte vers l'Amérique tropicale. Ce vaste courant de 30 degrés de largeur, dont 20 au nord et 10 au sud, vient se briser contre les rivages du nouveau monde. D'après la configuration de l'Amérique dont la pointe la plus orientale est fort au-dessous de l'équateur, la plus grande partie des eaux de ce courant se dirige vers le *golfe du Mexique*, dont il longe les sinuosités pour aller ressortir sous la pointe de la Floride et côtoyer les États-Unis du sud au nord.

Ce golfe, situé sur la zone torride, est partout entouré de hautes montagnes qui y concentrent les rayons solaires comme au fond d'un vaste entonnoir et y engouf-

frent les feux d'un climat brûlant. C'est de ce foyer que le courant équatorial s'échappe. Il se précipite à travers le détroit de la Floride et produit un flot impétueux de 300 mètres de profondeur et de 14 lieues de largeur. Il court avec une vitesse de 8 kilomètres à l'heure. Ses eaux, chaudes, salées, sont d'un bleu indigo, et diffèrent de leurs rives vertes formées par l'onde de la mer. Cette masse formidable détermine sur son passage une agitation profonde et suit ainsi son cours sans se mêler à l'Océan. Comprimées entre deux murailles liquides, les eaux du *Gulf-Stream* forment une voûte mouvante qui glisse sur l'empire des mers, en repoussant au loin tout objet qu'on y jette en dérive. C'est un vaste fleuve au milieu de l'Océan. « Dans les plus grandes sécheresses jamais il ne tarit, dans les plus grandes crues jamais il ne déborde. Ses rives et son lit sont des couches d'eau froide. Nulle part dans le monde il n'existe un courant aussi majestueux. Il est plus rapide que l'Amazone, plus impétueux que le Mississipi, et la masse de ces deux fleuves ne représente pas la millième partie du volume d'eau qu'il déplace. » (Maury.)

A l'aide du thermomètre, le navigateur peut suivre la grande veine liquide; l'instrument successivement plongé dans ses rives et dans son sein indique des températures qui diffèrent de 15 degrés.

Puissant et rapide, le Gulf-Stream se dirige vers le nord, en suivant les côtes des États-Unis, jusqu'au banc de Terre-Neuve. Là il subit le choc terrible d'un courant polaire, qui charrie des icebergs énormes, de véritables montagnes de glace tellement puissantes que l'une d'elles, pesant plus de 20 billions de tonnes, entraîna à trois cents lieues vers le sud le vaisseau du lieutenant de Haven. Le Gulf-Stream, aux eaux tièdes, dissout les glaces flottantes; les icebergs sont fondus, et les terres, les graviers, les fragments de rochers même qu'ils transportaient sont engloutis au sein des eaux.

Arrivé dans le voisinage de l'Europe, il envoie une bonne partie de ses eaux vers la mer Glaciale, en longeant l'Irlande, l'Écosse et la Norvége; le reste des eaux tourne vers le sud à la hauteur des côtes occidentales de l'Espagne, pour venir rejoindre le grand courant tropical à la hauteur du milieu de l'Afrique. Après s'être réunies à ce courant, dont elles sont pour ainsi dire la source, elles se portent de nouveau à l'ouest pour atteindre encore les côtes du Mexique, celles des États-Unis, et traverser, pour la seconde fois, l'espace qui sépare les États-Unis de l'Europe, formant ainsi un circuit continu de l'Afrique au Mexique, avec retour au point de départ par le chemin que nous venons d'indiquer. Les bouteilles flottantes que les marins jettent à la mer, avec l'indication du lieu et la date du jour où elles ont été confiées à l'Océan, ont appris que ce trajet, de 20 à 30 000 kilomètres, s'opère en trois ans et demi environ. Les vents suivent à peu près la même marche que les eaux, c'est-à-dire qu'entre les tropiques soufflent les vents d'est alizés qui portent l'atmosphère d'Afrique en Amérique, comme le courant tropical y porte aussi les eaux. Entre les États-Unis et l'Europe, de même que le courant porte la mer vers l'est, de même aussi les contre-courants des alizés soufflent vers l'Europe : d'où résulte une traversée beaucoup plus rapide des États-Unis, en France et en Angleterre, que d'Europe aux États-Unis; car, dans ce dernier cas, on a le vent et le courant contraires, lesquels favorisaient le trajet du nouveau monde vers l'ancien. On sait que lorsque Christophe Colomb tenta l'entreprise hardie de s'abandonner dans l'ouest, il descendit à la hauteur de l'Afrique pour y prendre les vents d'est, qui devaient, suivant son estime, le mener en Chine. On ne conçoit guère qu'à cette époque, dit M. Babinet, où les connaissances géographiques étaient assez avancées pour connaître à peu près les dimensions du globe, et la distance itinéraire de l'Inde et de la Chine, un homme ait été assez confiant dans l'impossible pour espérer atteindre les côtes orientales de la Chine, après une navigation égale à trois ou quatre fois la distance de l'ancien au nouveau monde. Si l'Amérique n'eût pas existé, il eût péri cent fois avant d'arriver en Chine.

Avant de passer aux autres circuits maritimes analogues au circuit de l'Atlantique septentrional, appesantissons-nous sur les circonstances qui le caractérisent.

Les eaux tropicales, dans leur trajet des côtes de l'Afrique à celles de l'Amérique, voyagent sous les feux d'un soleil zénital, et s'échauffent continuellement, jusqu'à leur entrée dans le golfe du Mexique; elles se déversent ensuite par le détroit de Bahama, où elles forment un rapide courant d'eau chaude, qui remonte à l'est des États-Unis, vers le banc de Terre-Neuve. Là le courant, comme nous l'avons dit, tourne à l'est pour venir vers l'Europe; mais il conserve encore l'excès de chaleur qu'il doit à son origine tropicale, et c'est là un des grands moyens que la nature met en œuvre pour tempérer notre globe, en portant ainsi, par le moyen des eaux, vers des régions plus septentrionales, la chaleur que le soleil verse entre les tropiques. A mesure que ce courant s'avance, il perd de sa chaleur en la distribuant à l'atmosphère et aux mers qu'il traverse; puis il revient, en laissant à sa gauche l'Espagne et le haut de l'Afrique, reprendre sa place dans le courant tropical, pour s'imbiber de nouveau d'une chaleur qu'il reportera encore dans les latitudes de l'Europe.

C'est par l'intermédiaire des vents que la chaleur de la mer se communique au continent. Nous allons constater tout à l'heure qu'à la hauteur de l'Europe, les vents dominants du globe sont les vents d'ouest inclinant vers le sud-ouest. On voit tout de suite que ces courants d'air, ayant pour base un courant d'eau chaude, en prendront la température et souffleront sur l'Europe avec une température bien plus élevée que si la mer, privée du courant chaud que nous avons décrit, restait au degré de chaleur que comporte sa latitude. Pour se convaincre de cette assertion, il suffit de comparer le climat et la température des villes américaines qui sont à la même latitude que nos villes de France.

Aucune des masses d'eau qui se déplacent sur la mer ne mérite d'être mieux connue que le Gulf-Stream; aucune n'a plus d'importance pour le commerce des nations et n'exerce une influence plus considérable sur les climats; c'est au Gulf-Stream que les îles Britanniques, la France et les pays voisins doivent en grande partie leur douce température, leur richesse agricole et, par suite, une part très-notable de leur puissance matérielle et morale. Son histoire se confond presque avec celle de l'Atlantique boréal tout entier, tant est capitale l'influence hydrologique et climatérique de ce courant des mers.

Grâce au mouvement de rotation du globe, et probablement aussi à la direction générale des côtes, le courant suit une direction constante vers le nord-est, et ne heurte aucune des pointes avancées du continent. Au large de New-York et du cap Cod, il s'infléchit de plus en plus vers l'est et, cessant de longer à distance le littoral américain, s'élance en plein Atlantique vers les côtes de l'Europe occidentale. Ainsi que le dit Maury, si de monstrueuses bouches à feu avaient assez de puissance pour lancer des boulets du détroit de Bahama au pôle boréal, les projectiles suivraient à peu près exactement la courbe du Gulf-Stream, et, déviant graduellement en route, atteindraient l'Europe en venant de l'ouest.

Du 43ᵉ au 47ᵉ degré de latitude septentrionale, dans les parages du banc de Terre-Neuve, le Gulf-Stream, venu du sud-ouest, rencontre à la surface des mers le courant polaire. La ligne de démarcation entre les deux fleuves océaniques n'est jamais absolument constante, et se déplace suivant les saisons. En hiver, c'est-à-dire de septembre à mars, le courant froid repousse le Gulf-Stream vers le sud; car, pendant cette saison, tout le système circulatoire de l'Atlantique, vents, pluies et courants, se rapproche de l'hémisphère méridional, au-dessus duquel voyage le soleil. En été, c'est-à-dire de mars à septembre, le Gulf-Stream reprend à son tour la prépondérance et rejette de plus en plus vers le nord le lieu de son conflit avec le courant polaire.

Après s'être heurtées contre les eaux du Gulf-Stream, celles du courant arctique cessent en grande partie de couler à la surface et descendent dans les profon-

deurs à cause du plus grand poids que leur donne leur basse température. On peut reconnaitre la direction de ce contre-courant, exactement opposée à celle du Gulf-Stream, par les montagnes de glace que la tiède haleine des latitudes tempé rées n'a pas encore fondues et qui voyagent vers le sud-est, à l'encontre du cou-

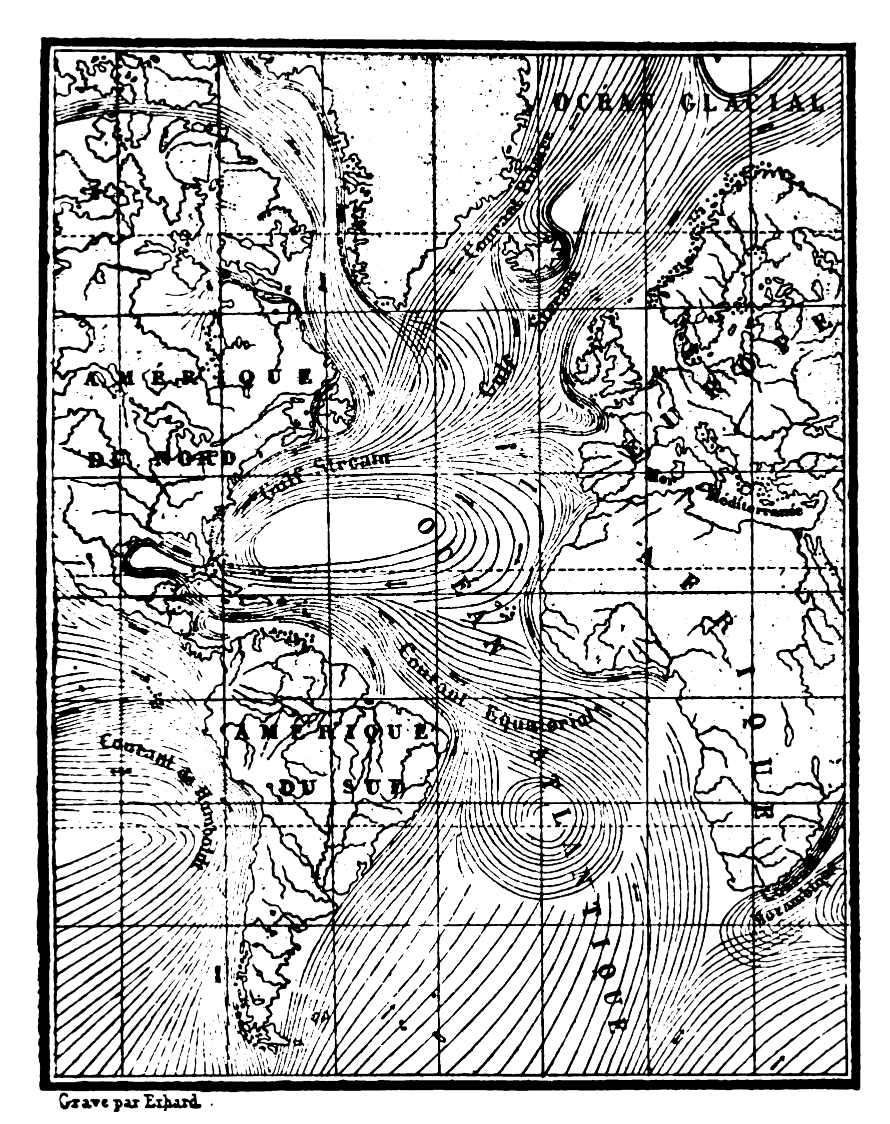


Fig. 145. — Les courants de l'Atlantique.

rant superficiel qu'elles fendent comme des proues de navires. Plus au sud, on ne reconnait qu'au moyen des instruments de sonde l'existence de ce courant caché, dont les eaux froides servent de lit au fleuve chaud sorti du golfe du Mexique; il descend et descend de plus en plus jusqu'au détroit des iles Bahama, où le thermomètre le découvre à près de 400 mètres de profondeur. (Reclus.)

Le pendant du Gulf-Stream est offert dans l'océan Pacifique par le courant chaud, qui suit les côtes de la Chine et du Japon, que les géographes japonais mentionnent depuis longtemps dans leurs cartes, sous le nom de *Kuro-Siwo*, ou fleuve Noir, sans doute à cause de la couleur foncée de ses eaux. Dans les mers du Sud, les courants sont beaucoup moins connus; ils y sont au reste beaucoup moins développés. Il est probable d'ailleurs que les fleuves marins ne sont pas des courants isolés, mais bien les diverses parties d'un même réseau, les veines distinctes d'un système unique de circulation.

Les petits circuits qui portent au sud les eaux de l'équateur sont loin d'égaler La quantité de chaleur que le courant du golfe entraîne vers les régions septentrionales est une partie très-notable du calorique emmagasiné dans les eaux sous le climat torride. La chaleur totale du courant suffirait, si elle était ramassée sur un seul point, pour fondre des montagnes de fer et faire couler un fleuve de métal aussi puissant que le Mississipi; elle suffirait encore pour élever d'une température d'hiver à une température estivale constante toute la colonne d'air qui repose sur la France et les îles Britanniques.

En dépit de la marche du soleil, il fait aussi chaud en moyenne en Irlande, sous le 52e degré de latitude, qu'aux États-Unis, sous le 38e degré, à 1650 kilomètres de plus dans la direction de l'équateur.

Le courant du golfe, qui porte la chaleur tropicale aux régions tempérées de l'Europe, sert aussi très-souvent de grand chemin aux ouragans : de là les noms de Weatherbreeder (père des tempêtes), et Storm-King (roi des orages), que l'on a donnés au Gulf-Stream. Les mouvements de l'océan atmosphérique et ceux de l'océan des eaux se produisent suivant un parallélisme si complet, qu'on serait tenté de voir un seul et même phénomène dans l'ensemble des courants aériens et maritimes. Ainsi le Gulf-Stream semble être pour les vents, comme il l'est vraiment pour les eaux, le grand intermédiaire entre les deux mondes. Il porte aux mers du nord de l'Europe les matières salines du golfe des Antilles; il entraîne avec lui la chaleur des tropiques pour en faire profiter les régions tempérées, il marque la route que suivent les torrents d'électricité que dégagent les ouragans des Antilles. C'est bien ce grand serpent des poëtes scandinaves qui développe son immense anneau à travers l'Océan, et, de sa tête qu'il balance çà et là sur les rivages, souffle une douce brise ou vomit la foudre et les tempêtes.

De même que, dans l'Atlantique du nord, le courant équatorial, qui s'engouffre dans le golfe du Mexique, revient sur lui-même en passant par des latitudes élevées, une autre portion de ce courant, bien plus petite, après avoir heurté le cap Saint-Roch, qui forme la pointe orientale de l'Amérique du Sud, descend le long de la côte orientale de cette même Amérique du Sud ; et ensuite, traversant l'Atlantique de l'ouest à l'est, revient vers l'Afrique inférieure pour remonter le long des côtes occidentales de cette partie du monde, et rejoindre le grand courant tropical par le sud, comme le Gulf-Stream le rejoint par le nord. A la quantité près des eaux, ce courant est parfaitement semblable au circuit qui occupe le nord de cet océan. La portion qui se déverse hors des tropiques et qui revient de l'ouest à l'est, du sud de l'Amérique au sud de l'Afrique, est aussi un courant d'eau chaude, comme le Gulf-Stream l'est entre les États-Unis et l'Europe. La comparaison des masses d'eau qu'entraîne séparément chacun de ces deux circuits montre combien le nord, dans la proportion des eaux chaudes qu'il reçoit, est favorisé comparativement au midi. On peut assurer que le circuit du nord forme un courant qui est cinq à six fois plus abondant que le circuit du midi.

Si nous jetions maintenant les yeux sur l'océan Pacifique, nous y verrions de même les eaux tropicales venir se briser contre la Nouvelle-Hollande, l'archipel de la Sonde et le bas de l'Asie. La plupart de ces eaux remontent au nord en un vaste courant d'eau tiède qui vient donner à la haute Californie et à l'Orégon un climat presque comparable à celui de notre Europe.

en efficacité les deux immenses courants du nord de l'Atlantique et du Pacifique Aussi la portion nord de notre globe jouit-elle de climats bien autrement favorables que l'hémisphère sud, et, pour n'en citer qu'un exemple, les glaces polaires descendent à peine au nord jusqu'à 10 degrés du pôle, tandis qu'au sud elles atteignent en moyenne le cercle polaire à 22 degrés et demi du pôle.

L'Atlantique du nord, l'Atlantique du sud, le Pacifique du nord, le Pacifique du sud et la mer des Indes ont chacun un courant dont le premier est le principal. La mer Glaciale du nord et la mer Glaciale du sud paraissent aussi traversées chacune d'un courant qui semble dirigé vers l'est, à l'entour du pôle. (Babinet.)

La circulation de la mer est complétée par les courants sous-marins. Un courant sous-marin doit porter les eaux de la Méditerranée dans l'Océan. Son existence résulte, en quelque sorte, d'un calcul par lequel on trouve que la quantité d'eau salée fournie par le courant supérieur du détroit de Gibraltar est de 12 myriamètres cubes par an, la quantité d'eau douce apportée par les fleuves de 1, et celle qui se perd en évaporation de 2 myriamètres cubes par an ; de sorte qu'il y aurait un excès annuel de 11 myriamètres cubes, si l'équilibre n'était pas rétabli par un écoulement sous-marin. Cette hypothèse paraît avoir été confirmée par un fait des plus curieux.

Vers la fin du dix-septième siècle, un brick hollandais, poursuivi et atteint entre Tanger et Tarifa, par le corsaire français *le Phénix*, fut coulé par une seule bordée d'artillerie. Mais au lieu de sombrer sur place, le brick, grâce à son chargement d'huile et d'alcool, flotta entre deux eaux ; il dériva vers l'ouest, et finit par s'échouer, après deux ou trois jours, dans les environs de Tanger, à plus de 12 milles du point où il avait disparu sous les flots. Il avait donc franchi cette distance, entraîné par l'action d'un courant inférieur, dans une direction opposée à celle du courant qui règne à la surface. Ce fait historique, joint à quelques expériences récentes, vient à l'appui de l'opinion qui admet l'existence d'un courant de sortie dans le détroit de Gibraltar. Le commandant Maury regarde encore comme certain qu'il y a un contre-courant sous-marin au sud du cap Horn, qui porte dans l'océan Pacifique le trop-plein de l'Atlantique. En effet, l'Atlantique est sans cesse alimenté par de très-grands fleuves, tandis que le Pacifique, qui ne reçoit aucun fleuve important, doit, au contraire, subir une perte énorme par suite de la grande évaporation qui a lieu à sa surface.

On a constaté certains courants inférieurs en lestant un morceau de bois, pour le faire couler, mais en le retenant par une ligne de pêche, de manière à le laisser descendre à plusieurs centaines de brasses, à la volonté de l'expérimentateur. A l'autre extrémité de la ligne, on attache un baril vide, assez fort pour soutenir l'appareil; puis on laisse tout aller du bord. Les marins qui observèrent ce fait pour la première fois, trouvaient fort extraordinaire de voir ce petit baril marcher contre le vent et la mer, à raison de 1 nœud et quelquefois davantage. Les hommes de l'équipage poussaient des exclamations de surprise en voyant tout cela fuir comme si un monstre marin s'en était emparé ; plusieurs manifestèrent même une certaine frayeur. La vitesse du baril était évidemment égale à la différence de vitesse des courants supérieur et inférieur.

En 1773, le navire du capitaine Deslandes mouillait dans les eaux du golfe de Guinée ; un fort courant qui entrait dans cette baie l'empêchait d'aller plus au sud. Deslandes s'aperçut alors qu'il existait un contre-courant inférieur, à 15 brasses 24 mètres) de profondeur, et il en tira parti d'une manière ingénieuse. Une machine, offrant beaucoup de surface, fut descendue à la profondeur du courant sous-marin. Cette machine fut entraînée avec assez de force pour remorquer le navire avec une vitesse de plus de 2 kilomètres à l'heure.

Dans la mer des Antilles, un bâtiment peut quelquefois s'amarrer, par le même moyen, au milieu d'un courant.

Dans le Sund, un double courant supérieur et inférieur a été constaté depuis très-longtemps.

La température moyenne à la surface de la mer est très-peu différente de celle de l'air, tant que des courants chauds ne viennent pas apporter leur influence perturbatrice. Dans les parages des tropiques, il paraît que la surface de l'eau est un peu plus chaude que l'air ambiant.

En examinant les températures à la surface et à diverses profondeurs, on a été conduit aux conséquences suivantes :

1° Entre les tropiques, la température *diminue* avec la profondeur ;

2° Dans les mers polaires, la température *augmente* avec la profondeur ;

3° Dans les mers tempérées comprises entre 30° et 70° de latitude, la température est d'autant moins décroissante, que la latitude devient plus grande, et, près du parallèle de 70°, elle commence à devenir croissante.

Il existe, par conséquent, une zone pour laquelle la température est à peu près constante, depuis sa superficie jusqu'à une profondeur très-grande.



Fig. 146. — Température des eaux de la mer.

On ne peut guère douter que des courants déterminés par la différence des pressions que supportent les couches de même niveau à l'équateur et vers les pôles, ne contribuent puissamment à produire cette distribution de la chaleur. Il paraît certain qu'il y a, en général, un courant superficiel, portant vers les mers polaires l'eau chaude des tropiques, et un courant inférieur rapportant des pôles vers l'équateur l'eau froide des régions polaires ; mais ces courants sont modifiés dans leur direction et leur intensité par une foule de causes qui dépendent de la profondeur des bassins des mers, de leur configuration, et de l'influence du vent et des marées.

Dans les eaux très-profondes on rencontre partout la température uniforme de + 4°, qui correspond, comme la physique l'a établi, au maximum de densité de l'eau. Cette température existe sous l'équateur à partir de 2200 mètres de profondeur. Dans les régions polaires, où l'eau est plus froide à la surface, on rencontre cette même température de 4° depuis la profondeur de 1400 mètres. Les lignes isothermes de 4° forment la démarcation entre les zones où la surface de l'eau de la mer est plus froide, et celles où elle est plus chaude que la couche qui possède 4°. C'est ce que montre la figure précédente, qui représente une coupe méridienne de l'Océan. La courbe qui touche deux fois la surface indique les profondeurs où commence la température constante de + 4°.

Enfin, le degré de salure des eaux de l'Océan diffère suivant les points du globe, et joue sans contredit un rôle important dans la densité, et par conséquent dans la formation même des courants maritimes.

CHAPITRE III.

LES VENTS VARIABLES.

LE VENT DANS NOS CLIMATS. — DIRECTIONS MOYENNES EN EUROPE ET EN FRANCE. — FRÉQUENCE RELATIVE DES DIFFÉRENTS VENTS. — ROSE DES VENTS SUIVANT LES LIEUX ET LES SAISONS. — VARIATION MENSUELLE ET DIURNE DE L'INTENSITÉ.

Après avoir observé les courants *réguliers* et périodiques de l'Atmosphère et des mers, portons notre attention sur les vents *irréguliers* qui soufflent dans nos climats. Ceux-ci n'ont qu'une irrégularité apparente, car le hasard n'existe pas dans la nature, et chaque molécule d'air ne se déplace que pour obéir impitoyablement à des lois aussi absolues que celles qui régissent les mondes dans l'espace. Nous allons essayer d'apporter quelque lumière au milieu du chaos de la multitude des vents qui se succèdent dans nos pays, et de démêler les forces en action dans cette variété.

En dehors des limites changeantes où soufflent les alizés et les périodiques des deux hémisphères, les zones tempérées sont le siége des vents variables. L'Europe, par exemple, est entièrement soumise à ce régime-là, les masses d'air s'écoulent tantôt dans un sens, tantôt dans un autre; parfois un seul vent règne pendant des semaines entières; parfois, au contraire, deux ou trois directions différentes se succèdent en quelques heures; parfois encore l'air reste calme, et la plus légère brise n'agite pas même le feuillage du mobile peuplier. Aussi l'instrument qui montre la direction du vent dans nos climats, la girouette, est-il depuis longtemps le symbole léger et féminin de l'inconstance.

Cependant, l'inconstance même a une cause, et elle est souvent plus apparente que réelle. Les vents de nos climats, qui nous paraissent si capricieux et si variables, vont nous laisser apercevoir derrière eux les règles auxquelles ils obéissent.

Nous avons vu, dans le chapitre I[er], que l'alizé *supérieur*, qui se rend de l'équateur au pôle, modifie sa direction primitive du sud au nord pour notre hémisphère, et tourne petit à petit au sud-ouest à mesure qu'il avance sur des latitudes plus élevées. Il perd en même temps de sa vitesse et de sa chaleur, et s'abaisse peu à peu. Vers le 30[e] degré, il est déjà descendu presque à la surface du sol. Aux latitudes de la France, il est tout à fait à la surface. Ce vent du *sud-ouest*, en effet, domine dans toute l'Europe. Ainsi, au milieu de la variété des vents, nous en remarquons déjà un qui est régulier, puisqu'il n'est autre que l'alizé supérieur descendu jusqu'ici, et qui prend la plus grande place dans la météorologie de nos climats.

Nous avons vu, dans le chapitre II, que le grand courant océanique, le Gulf-Stream, aborde les côtes de l'Europe dans cette même direction du *sud-ouest*. L'air circule dans le même sens et augmente encore l'appoint de l'alizé supérieur, ou, pour mieux dire, c'est toujours le même courant équatorial, aérien et maritime, détourné dans le sens S. O. par la rotation de la Terre.

Pour connaître exactement la direction du vent, on compte la proportion du temps pendant lequel chaque vent a soufflé, en admettant un total arbitraire auquel tout est rapporté. Ainsi, par exemple, supposons que le vent du sud-ouest ait soufflé 90 jours pendant une année : on inscrira qu'il a régné à lui seul pendant le quart du temps. Si ce temps est marqué par le nombre arbitraire 1000, on inscrira 250 au compte du sud-ouest (en supposant qu'il ait soufflé exactement le quart du temps, c'est-à-dire, pour une année, 91 jours 7 heures). On inscrit de la sorte toutes les directions fournies par la girouette en parties proportionnelles d'un même total, et l'on a de la sorte un tableau comparatif qui peut donner le résultat moyen d'un grand nombre d'années.

C'est ainsi qu'on a procédé pour l'Europe entière depuis déjà bien des années. Voyons de suite le résultat général de toutes les observations faites. Voici un petit tableau qui résume ces observations. Il montre clairement la prédominance du vent du S. O. pour l'ensemble du continent européen, et même pour l'Amérique du Nord.

FRÉQUENCE RELATIVE DES VENTS :

	N.	N. E.	E.	S. E.	S.	S. O.	O.	N. O.	Direction du vent moyen.	Force du vent moyen.
France	126	140	84	76	117	192	155	110	S. 88° O.	133
Angleterre	82	111	99	81	111	225	171	120	S. 66 O.	198
Allemagne	84	98	119	87	97	185	198	131	S. 76 O.	177
Danemark	65	98	100	129	92	198	161	156	S. 62 O.	170
Suède	102	104	80	110	128	210	159	106	S. 50 O.	200
Russie	99	191	84	130	98	143	166	192	N. 87 O.	167
Amérique du Nord	96	116	49	108	123	197	101	210	S. 86 O.	182

On voit que le vent dominant est le *sud-ouest*. En additionnant les nombres inscrits, dans le sens horizontal, on forme le nombre 1000 : ainsi, en France, le vent du sud-ouest souffle les 192 millièmes parties du temps, ou les 19 centièmes, c'est-à-dire presque le cinquième du temps. La proportion est plus forte encore en Angleterre. En additionnant l'ouest et le sud, on voit que ce quart de la rose des vents fournit à lui seul près de la moitié des vents régnants : 46 centièmes pour la France, et plus de la moitié pour l'Angleterre : 51 centièmes. Les observations si soignées, faites depuis 1830 à Bruxelles, et les nombres obtenus sur différents points de la Belgique, établissent une prédominance analogue pour cette contrée. On obtient comme pour la France 46 centièmes pour l'apport d'entre sud et ouest. Le vent dominant est même exactement S. 45° O. La Russie offre une variété due à son éloignement de l'Océan.

Ainsi, nous sommes sous l'influence bénigne du courant équatorial. Mais, si l'alizé de retour vient jusqu'ici et va même jusqu'au pôle, le courant polaire inférieur, qui porte l'air froid du nord au sud et forme sous les tropiques l'alizé du nord-est, doit également se faire sentir dans nos contrées. Il faut bien qu'il passe quelque part pour aller du pôle à l'équateur, et si l'air qui va de l'équateur au pôle ne s'en retournait pas, il n'y aurait plus d'atmosphère entre les tropiques. Or, examinons un instant encore le tableau précédent de la fréquence relative des vents. Le maximum est au sud-ouest, comme il est souligné; de là les nombres vont en décroissant, puis remontent, et nous offrent un second maximum au vent du *nord-est*. Voilà notre courant polaire. Le vent du nord-est prend les 14 centièmes du régime des vents en France, et les 19 centièmes en Russie.

Il existe donc dans notre hémisphère *deux directions générales* de vents. Tantôt c'est le courant équatorial qui prédomine, tantôt c'est le courant polaire. Le premier est chaud et humide, le second

est froid et sec. Chacun d'eux a, sur les productions de la terre, une influence contraire, et l'état des récoltes dépend en grande partie de l'époque et de la continuité de leur règne.

Les vents de S. O., O. et S. d'une part, ceux de N. E. et N. d'autre part, constituent les vents *primitifs* généraux auxquels nos régions sont soumises. Toutes les autres directions de vent proviennent de ces deux courants, par les causes suivantes:

Si les deux courants soufflent à côté l'un de l'autre, occupant chacun une certaine étendue, comme ils coulent dans une direction opposée, on doit trouver sur la limite qui les sépare des tourbillons, des remous engendrés par l'action des deux fleuves d'air. Ces remous tourneront dans le sens N. E. à S. O. à la tangente du courant polaire, et dans le sens S. O. à N. E. à la tangente du courant équatorial. Comme un instant de réflexion le montre, c'est là un simple mouvement de rotation horizontal comme celui d'une meule. Chaque point de la circonférence de cette meule d'air aura sa direction particulière, puisque nous supposons que cette masse tourne dans son ensemble. Ce sera là une zone de vents variables qui peut d'ailleurs changer de place sous l'influence des deux grands courants qui lui ont donné naissance, et qui changent eux-mêmes de position, de largeur et d'intensité.

Voilà une première cause de changements de vents qui est pour ainsi dire constante, puisque les deux courants soufflent sans cesse, et qui doit se multiplier sur de vastes étendues. Il en est une seconde non moins importante.

Une différence de température existe constamment entre les diverses régions d'un même territoire. Ici ce sont des eaux, là des terres; ici ce sont des déserts, là des forêts; ici ce sont des plaines basses chaudes, là des plateaux froids. Ces différences de température modifient nos deux courants à leur passage. Un ciel couvert favorise la marche de celui-ci, arrête la marche de celui-là. Ainsi des vents partiels naissent, comme des branches latérales, de ces deux grands arbres renversés.

Une troisième cause de changement s'ajoute encore aux précédentes : les protubérances du relief continental. Les courants généraux qui passent au-dessus d'une chaîne de montagnes n'y soufflent point avec la même régularité que dans la plaine. En effet, les vents doivent être d'autant plus inégaux dans leurs bouffées successives que la surface sur laquelle ils glissent est moins unie. La même nappe aérienne, qui se meut au-dessus des mers avec l'uniformité d'un fleuve immense, se départ de son allure régu-

lière dès qu'elle est interrompue dans son cours par les inégalités du sol. Au pied des grandes montagnes de la Suisse, et notamment aux environs de Genève où le relief terrestre est déjà très-accidenté, les alternatives qui se produisent dans la force du vent sont telles que l'anémomètre indique parfois une variation d'intensité du simple au triple. Dans les hautes gorges des Alpes il arrive souvent, même aux plus violentes tempêtes, que l'Atmosphère présente par intervalles le calme le plus parfait. Même dans les pays faiblement accidentés et dans les plaines parsemées de maisons et de bosquets, le vent ne progresse point d'un souffle égal comme l'alizé des mers; il avance par une succession de bouffées et de rafales, dont chacune représente une victoire du courant atmosphérique sur un obstacle de la plaine. Au ras du sol le vent est toujours intermittent, tandis que dans les hauteurs de l'air il marche presque toujours d'un mouvement égal et majestueux comme le courant d'un fleuve.

Ainsi des lois régissent ces détails de changement aussi bien que le mouvement général de circulation. Nous pouvons nous demander maintenant si l'on a remarqué une loi dans le sens de la succession des vents.

Revenons à notre première cause de changement signalée tout à l'heure. D'ordinaire, tout notre hémisphère est partagé en vastes bandes obliques composées de masses d'air coulant en sens inverse, les unes du pôle, les autres des régions équatoriales. Ces bandes se déplacent sur la rondeur du globe, et dans le même espace, c'est tantôt le vent polaire, tantôt le vent tropical qui domine; mais il ne manque jamais de s'opérer une compensation entre ces courants atmosphériques, et le vent neutralisé ou repoussé dans une partie de l'hémisphère ne tarde pas à se faire sentir sur un autre point. Tant que la lutte existe entre les deux masses d'air animées de mouvements contraires, les vicissitudes du conflit et la prépondérance graduelle de l'un des vents ont pour résultat de modifier temporairement la marche des airs, et de faire tourner successivement la girouette vers les divers points de l'horizon : c'est de la rencontre de deux vents réguliers que provient l'irrégularité apparente de tout le système atmosphérique.

Bien que la lutte ne cesse de s'engager tantôt sur un point, tantôt sur un autre, entre les deux fleuves aériens, cependant ils ne sont pas égaux en force, et l'un d'eux finit toujours par l'emporter après une période plus ou moins longue de résistance. Ce vent supérieur en impulsion est le courant de retour descendu des hau-

teurs de l'espace pour atteindre le niveau du sol en dehors de la zone des alizés.

Les courants atmosphériques venus de l'équateur s'infléchissent naturellement vers l'est; il en résulte que, dans l'hémisphère du nord, la plupart des vents soufflent de l'ouest.

Depuis des siècles déjà, les savants avaient constaté que, dans l'hémisphère septentrional, la succession des vents s'accomplit d'une manière normale dans le sens du sud-ouest au nord-est par l'ouest et le nord, et du nord-est au sud-ouest par l'est et le sud : c'est un mouvement de rotation analogue à celui que le soleil semble décrire dans le ciel, lorsque, après s'être levé à l'orient, il se dirige vers l'occident en développant sa vaste courbe autour du zénith. Aristote avait fait cette observation il y a plus de deux mille ans : « Lorsqu'un vent vient à cesser pour faire place à un autre vent d'une direction voisine, dit-il dans sa *Météorologie*, le changement a lieu suivant la marche du soleil. » Depuis l'époque du grand naturaliste grec, plusieurs auteurs que Dove a pris soin d'énumérer ont affirmé de nouveau ce fait de la rotation régulière des vents, qui du reste était de temps immémorial parfaitement connu des marins. Dove le premier a réuni les témoignages épars qui confirment l'idée populaire, et transforment l'ancienne hypothèse en certitude scientifique. Désormais, il est devenu tout à fait incontestable que, dans l'hémisphère du nord, les vents se succèdent le plus fréquemment dans l'ordre régulier suivant :

S. O., O., N. O., N., N. E., E., S. E., S., S. O.

Dans l'hémisphère méridional, la rotation normale des courants aériens s'accomplit en sens inverse. Ainsi, dit É. Reclus, dans chacun des hémisphères opposés, la procession des vents coïncide avec la marche apparente du soleil, qui, pour les Européens, décrit sa course journalière au sud du zénith, et pour les Australiens passe au nord de ce même point. Tel est l'ordre régulier auquel Dove a donné le nom de loi de gyration, mais qui a gardé le nom de ce savant lui-même.

Le directeur de l'Observatoire national de Belgique, qui a dégagé de ses nombreuses observations la marche des changements de direction, conclut que les changements dans le sens direct ou du mouvement diurne du ciel sont plus nombreux que les changements dans le sens rétrograde dans le rapport de 508 à 341.

Les rotations complètes directes sont beaucoup plus fréquentes que les rotations rétrogrades ; on compte annuellement 19 des premières et 6 seulement des

secondes : le rapport est donc comme 3 à 1 environ. La différence porte presque entièrement sur le printemps et l'été. Pendant cette dernière saison surtout, on n'a compté moyennement qu'une rotation rétrograde par an, tandis qu'on comptait 8 rotations directes.

En réunissant les nombres donnés pour l'hiver et l'automne, on trouve en cinq années 40 rotations, soit directes, soit rétrogradés, tandis que pour le printemps et l'été, on en a compté 84, nombre plus que double du premier.

Si l'on a égard à la durée des rotations, on trouve, pour les valeurs extrêmes, que la rotation la plus longue a été de 88 jours, et la rotation la plus courte de 1 heure 15 minutes.

Il est à remarquer que les rotations les plus lentes ont eu lieu pendant les mois de septembre, décembre et avril, et les rotations les plus rapides pendant les mois de juin, juillet et août.

Le directeur de l'Observatoire national d'Angleterre, Airy, nous montre, dans une table sur laquelle il a relevé les rotations annuelles des vents observées, que ce nombre varie depuis 0 jusqu'à 24, et paraît soumis à une période septennale.

J'ai observé dans mes voyages aériens une déviation gyratoire montrant que le vent ne se propage pas en ligne doite, lorsqu'on envisage une grande étendue, mais incline dans le sens que la théorie précédente vient d'indiquer.

Immergé dans le courant atmosphérique qui l'emporte, l'aéronaute se trouve situé dans la meilleure condition possible pour connaître la direction constante du courant, comme pour en mesurer la vitesse. J'ai eu soin, dans chaque voyage, de tracer exactement sur la carte de France ou d'Europe la projection de la ligne aérienne suivie par l'aérostat, à l'aide de points de repère qu'on prend avec la plus grande facilité lorsque le ciel est pur, et qu'on peut toujours arriver à obtenir, même sous un ciel nuageux, soit en profitant des éclaircies, soit en descendant de temps en temps au-dessous des nuages.

L'aérostat marque si bien la direction et la vitesse absolue du courant, que la première sensation éprouvée en naviguant dans les airs est celle d'une immobilité complète. C'est une impression toute particulière et toujours surprenante de se voir voguer avec la vitesse du vent et de ne sentir aucun souffle d'air, pas la moindre brise ni le plus léger mouvement, même lorsqu'on se trouve emporté avec furie dans l'espace par la plus violente tempête. Je n'ai éprouvé qu'une seule fois une bonne brise, le 15 avril 1868, pendant quelques minutes; je l'attribue à ce que l'aérostat, lancé alors avec une vitesse de 55 kilomètres à l'heure, est arrivé dans une région où l'air se déplaçait moins rapidement.

Un fait capital ressort avec évidence du tracé de mes différentes lignes aériennes. Ces routes inclinent les unes et les autres dans le même sens, en vertu d'une déviation gyratoire générale.

Ainsi, par exemple, le 23 juin 1867, l'aérostat, conduit par un vent du nord, file d'abord dans la direction du sud, puis il forme vers l'ouest un angle léger avec la ligne du méridien de Paris ; cet angle, d'abord très-faible, puisque le ballon passe à l'est d'Orléans en traversant le 48e degré de latitude, s'accuse ensuite de plus en plus. En traversant le 47e degré, la direction devient sud-sud-ouest. En arrivant au 46e, elle est tout à fait sud-ouest, et c'est ainsi que nous descendons, à 4 heures 20 minutes du matin, à Larochefoucault, près Angoulême. Étant partis de Paris la veille à 4 heures 45 minutes, nous avions parcouru 480 kilomètres en 11 heures 35 minutes, avec des vitesses croissantes.

Ce mouvement de gyration des couches atmosphériques, accusé par ce voyage, s'est manifesté d'une manière analogue en différentes traversées. Le 18 juin, nous partons sous un vent est-nord-est, et voguant d'abord ouest-sud-ouest nous passons au zénith de Versailles. Coupant l'angle de la forêt de Rambouillet après avoir traversé l'étang de Saint-Hubert, nous allons jeter l'ancre à Villemeux, au sud-est de Dreux. Remorqués à ballon captif jusqu'à cette ville, nous nous élevons de nouveau pendant la nuit, et dès lors nous voguons tout à fait vers l'ouest. Du 1er au 2e degré de longitude, la rotation continue de s'accentuer. Nous passons sur Verneuil et Laigle et allons descendre à Gacé (Orne), conduits dans la direction ouest inclinée déjà vers le nord.

Dans la nuit du 9 au 10 juin, après être venus le soir de Paris en inclinant vers le sud et nous être arrêtés à la lisière de la forêt de Fontainebleau, à Barbizon, nous remontons le matin dans l'atmosphère, et suivant une courbe qui s'est de plus en plus accentuée pendant notre escale, malgré l'état de calme de l'atmosphère, nous allons tourner au sud-ouest et descendre près de Lamothe-Beuvron, au sud d'Orléans.

Le 15 avril 1868, parti du Conservatoire, l'aérostat vogue d'abord vers le sud-sud-ouest, passe au zénith de l'Observatoire, laisse à l'ouest Bourg-la-Reine et Lonjumeau et passe sur Arpajon et Étampes. Nous suivons sensiblement la ligne du chemin de fer d'Orléans, en laissant à notre droite Angerville, Arthenay, Chevilly ; puis, traversant la forêt d'Orléans, nous arrivons bientôt sur la Loire, en tournant de plus en plus vers le sud-ouest. Après avoir laissé Orléans à gauche de notre route, nous suivons le cours de la Loire pour descendre à Beaugency, ayant de la sorte constamment dessiné un arc de cercle nous emportant vers le sud-ouest.

Ces observations correspondent-elles à la loi de giration des vents signalés par Dove? C'est là, je crois, un seul et même fait.

La direction actuelle d'un vent est son caractère le plus apparent et le plus facile à observer. Pour la déterminer, on suppose l'horizon partagé en quatre arcs égaux par deux diamètres perpendiculaires entre eux, dont l'un est dirigé du sud au nord, l'autre de l'est à l'ouest. Les points où ces diamètres coupent l'horizon sont les quatre points cardinaux. Mais ces points seraient insuffisants, car le vent peut prendre une foule de directions intermédiaires. On indique ces directions par de nouveaux diamètres qui partagent l'horizon en seize parties égales, et l'on a ainsi, sauf des différences négligeables, l'indication de toutes les aires du vent. La figure qui représente ces divisions, et que nous donnons ci-contre, est connue sous le nom de Rose des vents. A peine est il besoin de rappeler que l'aire du vent s'exprime toujours par le

point d'où il vient, et jamais par celui vers lequel il souffle; ainsi vent d'est veut dire vent qui vient de l'est; vent du nord, vent qui pousse au sud, etc.

Lorsqu'on sait s'orienter et qu'on peut trouver autour de soi quelques objets susceptibles d'être impressionnés par les mouvements de l'air, il est aisé de reconnaître la direction du vent; mais on a souvent recours à un instrument, le plus ancien sans doute de tous ceux qui servent aux observations météorologiques,

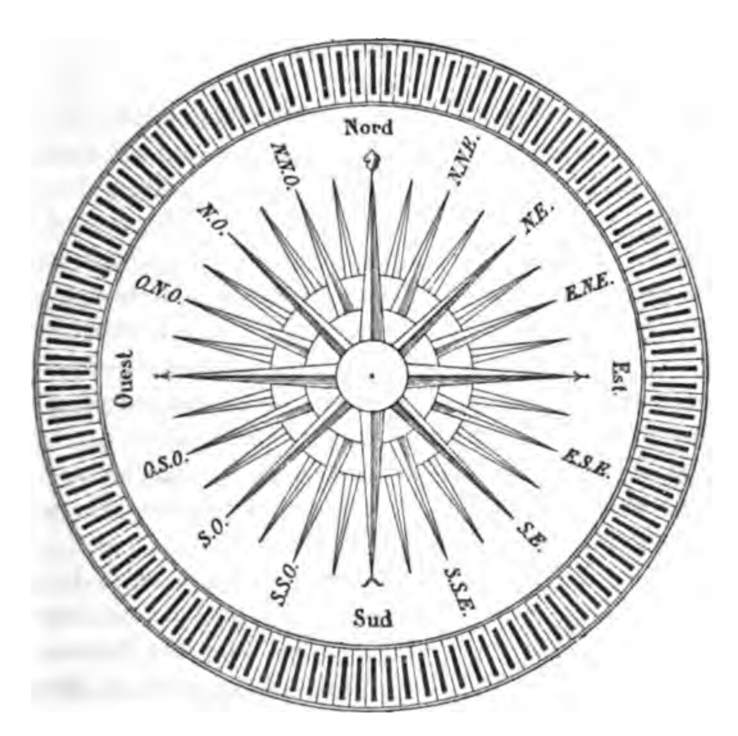


Fig. 147. — Rose des vents.

à la girouette. Ce simple appareil consiste en une feuille de métal, ordinairement de fer-blanc ou de zinc, découpée d'une façon plus ou moins élégante, et mobile sur une tige à laquelle est fixée une croix horizontale, dont les bras portent à leurs extrémités les lettres N, S, O, E. La girouette se place sur la partie la plus élevée des édifices. Autrefois elle était le complément obligé, non-seulement des palais et des châteaux, mais même des plus modestes maisons dont les façades à pignons semblaient faites tout exprès pour la recevoir.

On a toujours parlé du temps, dit à ce propos A. Laugel, si l'on n'a pas toujours parlé de la météorologie, et, bien que le nom soit récent, je suis tenté de croire que nos aïeux avaient plus que nous souci de ce qu'il représente. En faut-il donner une preuve? On voit bâtir aujourd'hui nombre de belles maisons, de châteaux, où l'architecte a oublié la girouette. Jadis, dessinée avec goût, de formes originales, elle ornait toujours les toits des maisons. Il y a quelque chose de poétique dans cet emblème du changement et de la fixité réunis dans un seul objet. N'est-ce pas l'image de notre pauvre vie de tant d'efforts, de troubles, de luttes sur un point étroit où l'on naît, et où il faut mourir? La girouette domine la maison; elle marque fidèlement toutes les incertitudes, toutes les tempêtes du ciel; au-dessous s'agitent toutes les passions humaines. Elle grince encore à demi usée, au-dessus des vieilles demeures désertes que plus rien n'anime au dedans, et ses brusques mouvements forment un contraste lugubre avec le calme et le silence que la mort et l'oubli ont laissés derrière eux.

Exposée aux intempéries, elle se rouille et se détériore, devient paresseuse, n'obéit plus aux impulsions du vent. Il arrive aussi que sa tige se déjette, et alors, déplacée de sa position d'équilibre, la girouette retombe toujours du même côté. Ses indications ne sont valables que si elle est vérifiée de temps en temps, et placée à une hauteur qui la mette à l'abri des déviations de vent causées par les obstacles inférieurs. Il n'est pas rare que l'Atmosphère soit parcourue par plusieurs courants superposés et entre-croisés. Dans ce cas, le courant principal, celui qui, si l'on peut dire, gouverne le temps, est en général placé à une grande hauteur, quand même il n'est pas le plus élevé de tous, et c'est la marche des nuages qui le fait connaître. Là est le meilleur et le plus sûr indice de l'aire du vent.

La masse ou la densité de l'air ne variant que dans des limites très-restreintes, la force du vent dépend presque entièrement de sa vitesse, et croît comme le carré de celle-ci. Les termes « force du vent » et « vitesse du vent » sont donc presque identiques. Pour mesurer cette vitesse, on se sert d'appareils désignés sous le nom d'*anémomètres*.

L'un des plus utilisés dans les observatoires est celui dont l'invention est due au docteur Robinson, de l'Observatoire d'Armagh (Irlande). Cet instrument se compose d'un axe vertical, supportant quatre rayons horizontaux de même longueur, croisés à angles droits et à l'extrémité desquels quatre *demi-sphères creuses* sont soudées de manière que le grand cercle qui termine chacune d'elles soit toujours dans un plan vertical, et que la partie concave de l'une quelconque regarde la partie convexe suivante.

Un instant de réflexion suffit pour montrer que le vent rencontre toujours deux demi-sphères concaves et deux autres convexes. Comme il a plus d'action sur les premières que sur les secondes, il imprime à tout le système un mouvement de rotation, et le nombre des tours du moulinet est toujours proportionnel à la vitesse du vent; le nombre trois représente assez exactement le rapport qui existe

entre l'un et l'autre. Ainsi, en mesurant la circonférence du cercle que décrit le centre d'une des demi-sphères, et en multipliant cette longueur par trois, on a le chemin parcouru par le vent pour chaque révolution du moulinet.

A l'Observatoire de Paris, dont je reproduis ici la terrasse supérieure, l'installation météorologique, opérée d'abord par les soins d'Arago, puis complétée il y a quelques années par M. Marié-Davy, se compose des divers instruments que nous avons décrits séparément pour la plupart. Le vent inférieur montre sa direction par la *girouette*, assez massive et découpée en forme de queue de comète, la vitesse est donnée par l'*anémomètre* de Robinson (voir la page suivante). Le vent supérieur est donné par la direction des nuages, que l'on observe soit directement, soit plus exactement dans un miroir sur lequel les directions sont gravées. On voit sur le premier plan un mât d'où descendent deux fils électriques : c'est le support d'un thermomètre électrique, placé à 5 mètres (c'est-à-dire à 33 mètres au-dessus du sol), dont les indications sont transmises à l'étage inférieur; ce sont les *températures de l'air*. Cette même température de l'air est également donnée par un thermomètre placé au nord de la salle méridienne sous un triple cône de métal, et que le dessinateur a supposé sur la terrasse, ainsi que ceux du jardin, enregistrant les maxima et les minima. On voit près de la coupole un ancien *pluviomètre*, remplacé aujourd'hui par le toit conique de la petite construction circulaire du premier plan, dont l'intérieur est en forme d'entonnoir et recueille l'eau tombée. — Le baromètre Fortin se voit à travers une fenêtre.

Au nouvel Observatoire météorologique de Montsouris, avec lequel nous avons déjà fait connaissance, et sur lequel nous nous étendrons spécialement plus loin, la girouette est une plaque carrée de fer-blanc, dont on observe le mouvement avec la plus grande facilité dans la cour intérieure vitrée, à l'aide d'un miroir orienté. L'anémomètre élevé sur un poteau de 20 mètres transmet automatiquement ses indications par un circuit électrique.

Il est intéressant pour nous d'avoir pris, comme nous venons de le faire, une idée exacte générale de la distribution du vent dans nos climats. Mais il le serait davantage encore de pouvoir nous représenter le fonctionnement du vent selon les différents mois de l'année, selon les saisons, pour les principaux points de l'Europe. Ainsi, par exemple, nous ne pouvons glisser sur ce sujet sans profiter de toutes les observations météorologiques faites à Paris pour nous rendre compte de la manière dont s'y comporte le vent, et connaître le régime des vents sur ce point principal de la

France. Il faut aussi que nous puissions voir à peu près quelles influences dominent sur la France entière, et aussi sur les centres principaux, sur les villes capitales des autres nations de l'Europe. C'est ce que nous allons essayer, en mettant à profit tous les documents météorologiques que des observateurs dévoués à la science et infatigables ont réunis pour plusieurs points spéciaux.

Commençons d'abord par Paris.

L'Observatoire de Paris, fondé il y a juste deux siècles par l'Académie des sciences, Colbert et Louis XIV, a inscrit dès le commencement à son programme l'étude des phénomènes atmosphériques comme étant le complément indispensable de celle des phénomènes célestes. Nous avons vu (p. 36) que le baromètre avait été inventé en 1643, et (p. 228) que le thermomètre l'avait été vers 1650. Dès son entrée à l'établissement, en 1670, Cassini I[er] organisa l'observation quotidienne de ces deux instruments fondamentaux; celle du vent et de la pluie vint ensuite. Nous avons ainsi à Paris une série respectable de près de deux siècles d'observations météorologiques, qui sont devenues de plus en plus précises, avec les années et avec la discussion critique, sans laquelle la science n'existe pas.

Nous avons vu dans le Livre précédent quelles sont les moyennes de température, mensuelles et diurnes, qui ont été conclues de ces observations régulières. On a pu de même arriver à comparer chaque année les mêmes mois entre eux, quant aux vents enregistrés, et voir ainsi quelles sont les directions du vent les plus fréquentes en janvier, de même en février, et ainsi de suite pour chaque mois. En faisant la moyenne de soixante ans d'observations (1806-1866), on arrive aux divers résultats suivants.

Cette longue série d'observations régulières nous donne d'abord les chiffres que voici pour la moyenne *annuelle* des huit vents principaux à Paris :

RÉPARTITION ANNUELLE DES VENTS A PARIS.
(Proportion sur 10 000 vents.)

Nord	1039
Nord-Ouest	1084
Ouest	1782
Sud-Ouest	1935
Sud	1476
Sud-Est	799
Est	694
Nord-Est	1191

On voit combien le sud-ouest et l'ouest dominent tous les autres.

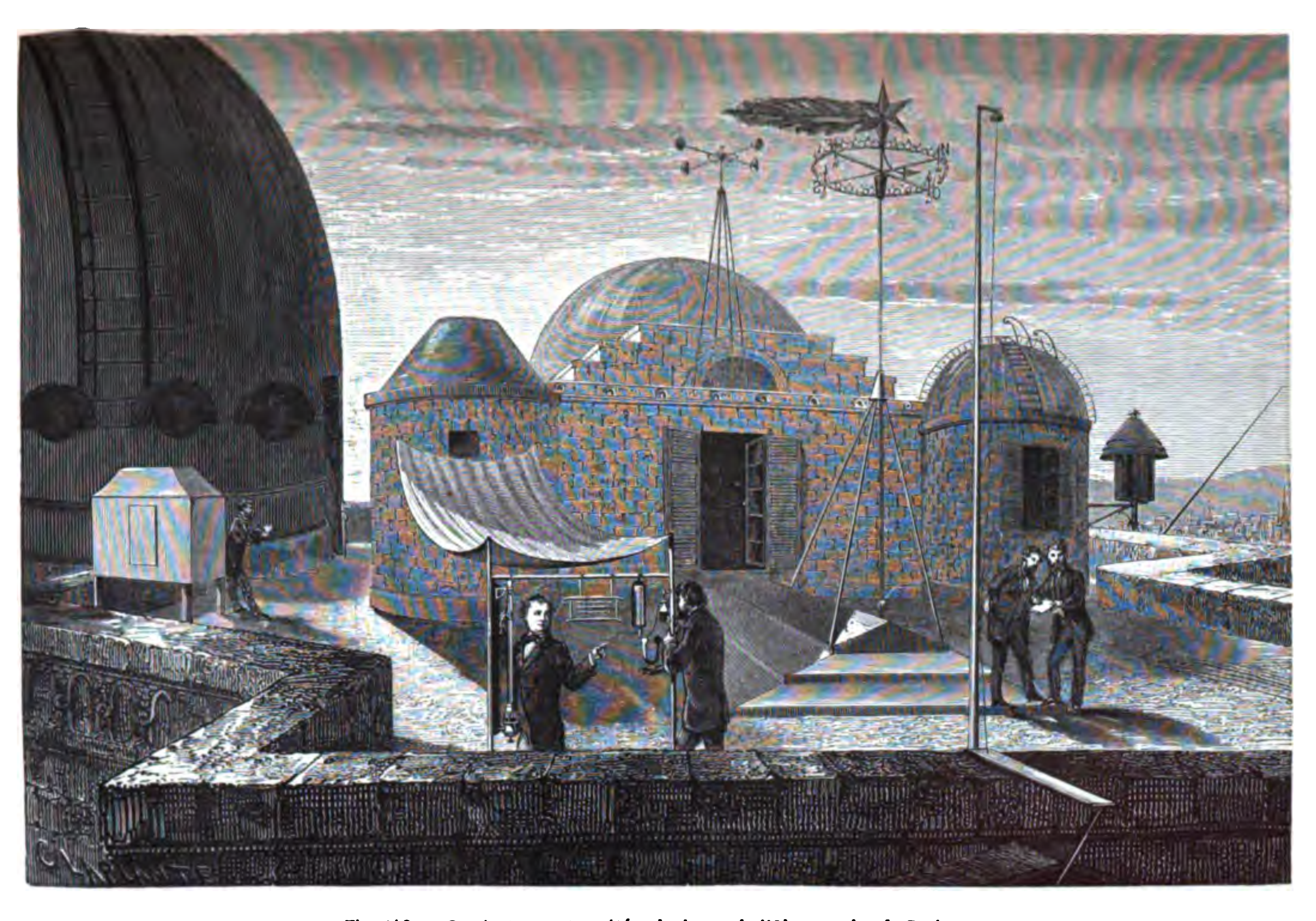


Fig. 148. — Les instruments météorologiques de l'Observatoire de Paris.

Pour mieux saisir les directions de vents représentées par ces nombres, on les traduit en figures géométriques. A partir d'un point central, on élève des lignes droites dans la direction des points cardinaux N. E. S. et O., et des rhumbs intermédiaires NE., SE., SO. et NO.; puis on marque sur ces droites une longueur proportionnelle au nombre de fois qu'a soufflé le vent correspondant; on les termine à cette longueur, et l'on réunit toutes ces extrémités par une courbe continue.

Si, par exemple, le vent du nord soufflait toute l'année au détriment des autres, la figure serait toute en hauteur et ressemble-

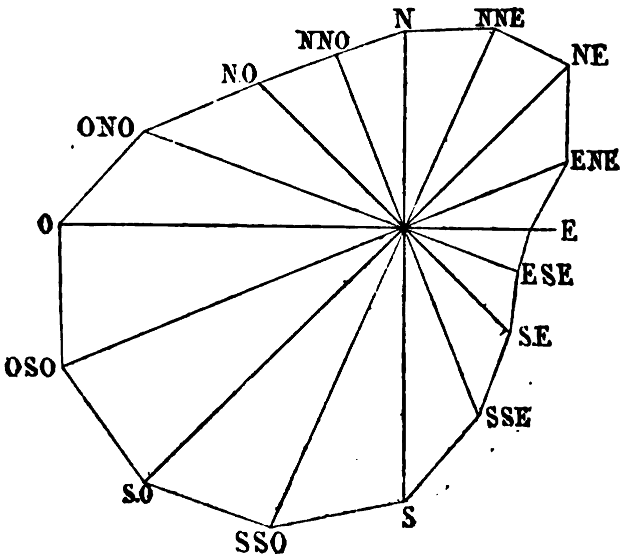


Fig. 149. — Rose moyenne annuelle des vents à Paris.

rait à la lettre A, laissant à peine de place pour les autres vents, rares dans notre hypothèse. Si, au contraire, c'était le vent du sud qui prédominât uniquement, la figure ressemblerait à la lettre V. Si les vents soufflaient également de toutes les directions, la figure prendrait la forme d'un cercle. On comprend facilement ce mode de représentation. — Au lieu de tirer les lignes dans la direction du vent, on peut les tirer sous le vent, c'est-à-dire dans la direction opposée. La figure prend alors une forme symétriquement contraire. Les deux modes sont bons : le premier est plus *direct;* le second représente *l'effet* du vent, par exemple, sur une flamme. J'emploierai le premier ici. — Pour obtenir le second, on n'aurait qu'à retourner le livre le haut en bas, mettant le S. en haut et l'O. à droite.

La courbe précédente représente l'état général du vent à Paris,

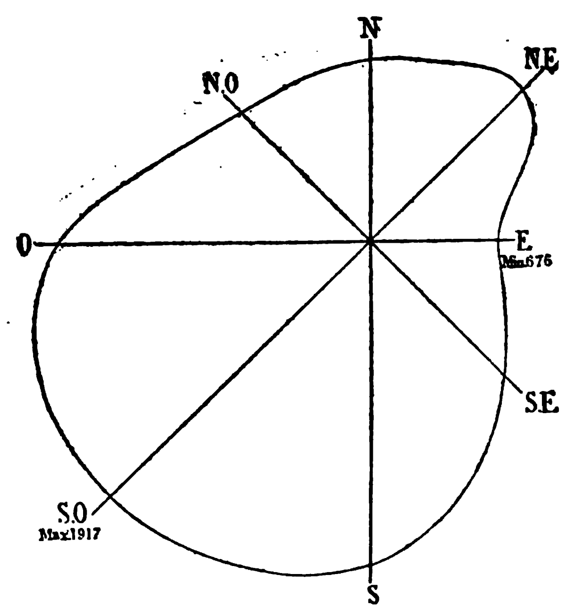


Fig. 150. — Rose moyenne des vents d'hiver à Paris.

d'après une moyenne de soixante ans. On voit, dès le premier

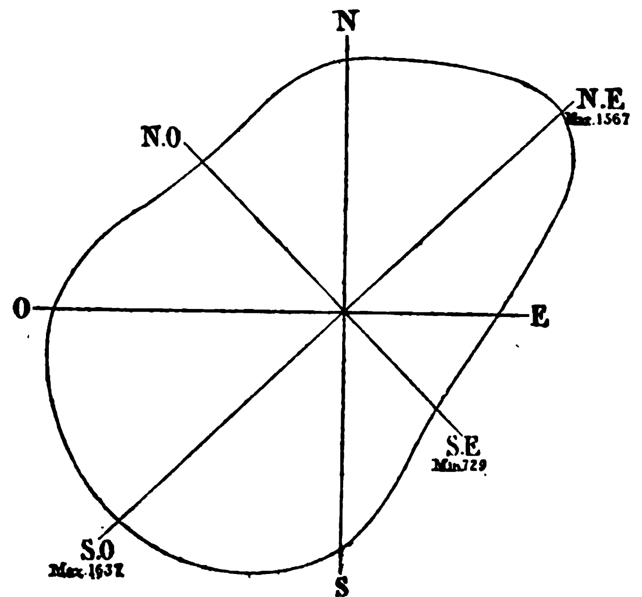


Fig. 151. — Rose moyenne des vents de printemps à Paris.

coup d'œil, combien la figure a d'ampleur vers le S.O., l'O. et le S.,

ampleur correspondant aux nombres du premier des trois petits tableaux précédents.

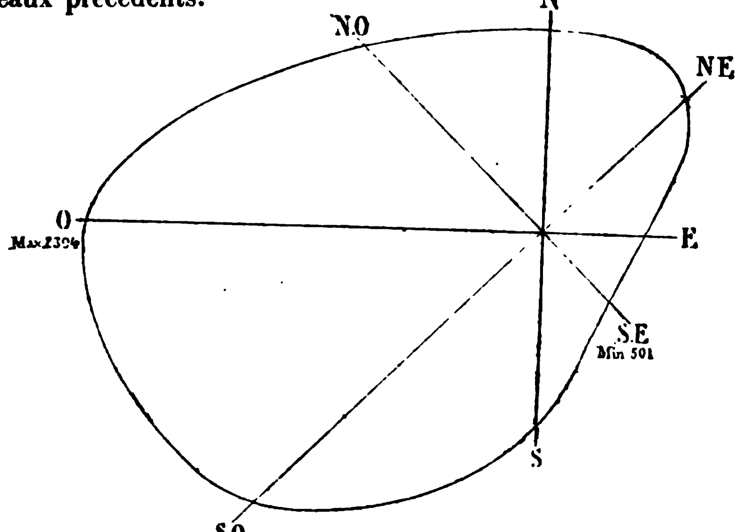


Fig. 152. — Rose moyenne des vents d'été à Paris

Cette même série de soixante années d'observations quoti-

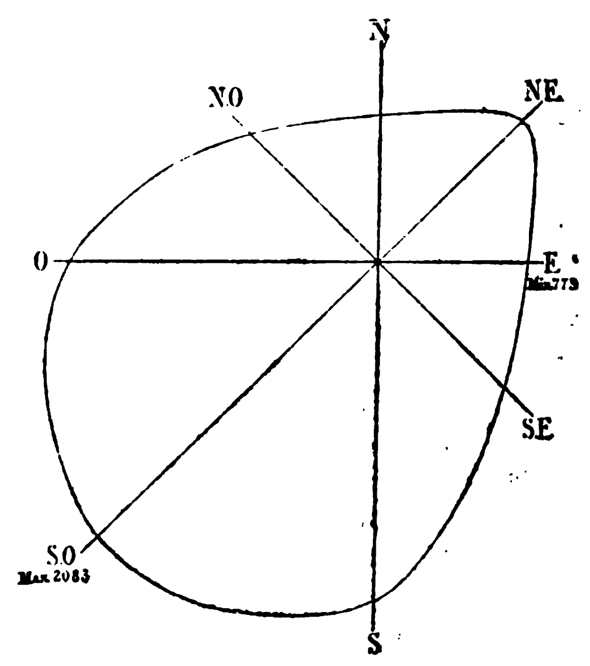


Fig. 153. — Rose moyenne des vents d'automne à Paris.

diennes régulières nous donne les chiffres suivants pour la direction dominante des vents suivant les *saisons*.

RÉPARTITION DES VENTS A PARIS PAR SAISONS.
(Proportion sur 10 000 vents par saison.)

	N.	N.O.	O.	S.O.	S.	S.E.	E.	N.E.
Hiver............	962	955	1599	1917	1725	1034	676	1132
Printemps..........	1343	1078	1542	1637	1312	729	792	1567
Été.................	1055	1327	2394	2103	1070	501	635	1015
Automne...........	791	971	1586	2083	1809	940	775	1045

On voit qu'en hiver les vents les plus fréquents sont ceux du S. O. et du S.; qu'au printemps, ce sont ceux du S. O. et ceux du N, E. (courant polaire); qu'en été, ce sont les vents d'O.; et qu'en automne, ce sont le S. O. et le S. qui dominent.

En examinant chaque mois séparément, nous constatons la répartition suivante :

RÉGIME MENSUEL DES VENTS A PARIS.
(Proportion sur 10 000 vents par mois.)

	E.	N.O.	O.	S.O.	S.	S.E.	E.	N.E.
Janvier.............	115	95	155	176	158	110	68	123
Février.............	104	102	175	171	193	100	62	93
Mars...............	123	100	172	172	123	64	66	180
Avril...............	153	118	141	136	141	71	86	154
Mai	127	105	149	182	131	84	86	136
Juin	131	130	211	200	93	59	53	123
Juillet..............	97	144	257	210	106	49	46	91
Août...............	89	124	249	220	122	43	62	91
Septembre..........	99	98	150	203	162	73	87	128
Octobre.............	77	102	160	187	198	105	78	93
Novembre..........	62	91	165	236	182	103	68	93
Décembre..........	70	90	151	226	168	100	73	122

C'est là le résultat de près de cent mille observations. Le vent dominant à Paris est exactement O. 35° S. Cette direction est la plus fréquente et la plus forte en moyenne.

Si, au lieu de réunir chaque point à son voisin par une ligne *droite*, on suppose, avec Haeghens, que les vents intermédiaires sont proportionnels aux vents observés, on trace une *courbe* réunissant, sans former d'angles, toutes les observations faites. Dans la nature il n'y a pas de sauts brusques. C'est en tenant compte des points intermédiaires qu'ont été tracées les quatre roses précédentes pour chaque saison, construites d'après les nombres du petit tableau des vents distribués par saisons.

En prenant séparément les nombres du dernier tableau (régime mensuel), et en portant autour d'un centre des longueurs en

millimètres proportionnelles à la fréquence relative des différents vents (1^{mm} pour 10), j'ai tracé les douze roses de la figure 154 (page suivante) qui représentent exactement la moyenne des vents pour chaque mois de l'année à l'Observatoire de Paris, d'après soixante ans d'observations.

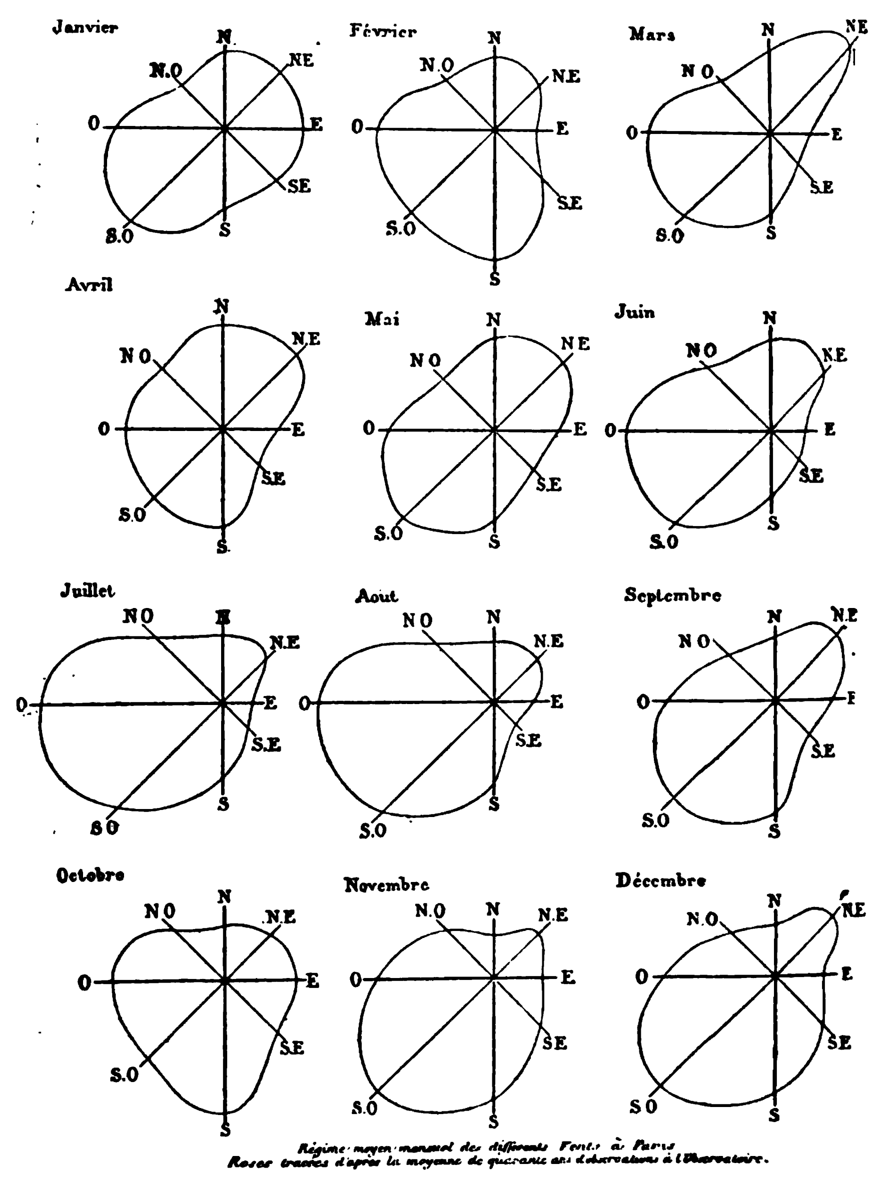
L'Observatoire météorologique spécial établi au parc de Montsouris trace lui-même ces courbes curieuses de la marche des vents, comme celles du thermomètre, du baromètre, etc. C'est là un complément précieux pour toute publication météorologique, et déjà l'Observatoire de Bruxelles et les comparaisons de Glaisher en avaient donné l'exemple, sans oublier les travaux personnels de Lalanne, qui le premier a traduit la météorologie en figures géométriques parlantes. Je choisis dans les bulletins de Montsouris une année entière de roses mensuelles (fig. 155). En comparant chaque mois à ceux de la figure précédente, on voit que le régime des vents est loin d'être identique chaque année; les mois s'écartent plus ou moins de la moyenne générale, et cet écart dans le régime des vents est le premier caractère distinctif de chaque année, au point de vue de la température comme sous celui des pluies, c'est-à-dire pour toute climatologie. Les courbes ont été tracées, comme on le voit, sans tenir compte des vents intermédiaires.

Tel est le régime des vents à Paris. Si nous considérons la France dans son ensemble, nous constatons que le S. O. domine dans le nord, le nord-est et l'ouest, région que l'on peut appeler Atlantique, et qu'il s'abaisse vers la région méditerranéenne, si bien qu'à Marseille, par exemple, il souffle presque constamment du N. O. et que dans presque tout le nord de la France le vent N. est dominant. Cette inflexion est due, en partie au relief des terres, en partie surtout à l'aspiration des déserts brûlants d'Afrique.

La rose mensuelle des vents à Marseille est très-curieuse, en ce sens qu'elle est pour ainsi dire constamment représentée par un trait orienté du N. O. au S. E. : c'est le mistral (en patois provençal *magistraou*, maître vent), si connu sur le littoral français de la Méditerranée. A Toulon, l'O. domine de mai à septembre, l'E. d'octobre à janvier. A Lisbonne, le N. et le N. N. O. dominent toute l'année, alternant avec le S. O. Madrid, fortuitement influencée par le relief du sol et par les découpures de l'Espagne, est très-variable : sa girouette tourne à tous les vents.

Les vents du N. soufflent presque constamment en été sur l'archipel Grec, et

sont connus depuis longtemps sous le nom de vents *étésiens*. Ils commencent après le solstice d'été et durent quelquefois jusqu'à la fin de l'automne. Ils sont interrompus surtout vers l'époque des solstices, c'est-à-dire des jours les plus longs et des jours les plus courts, par des vents de S. E. et de S.O. qui soufflent avec une



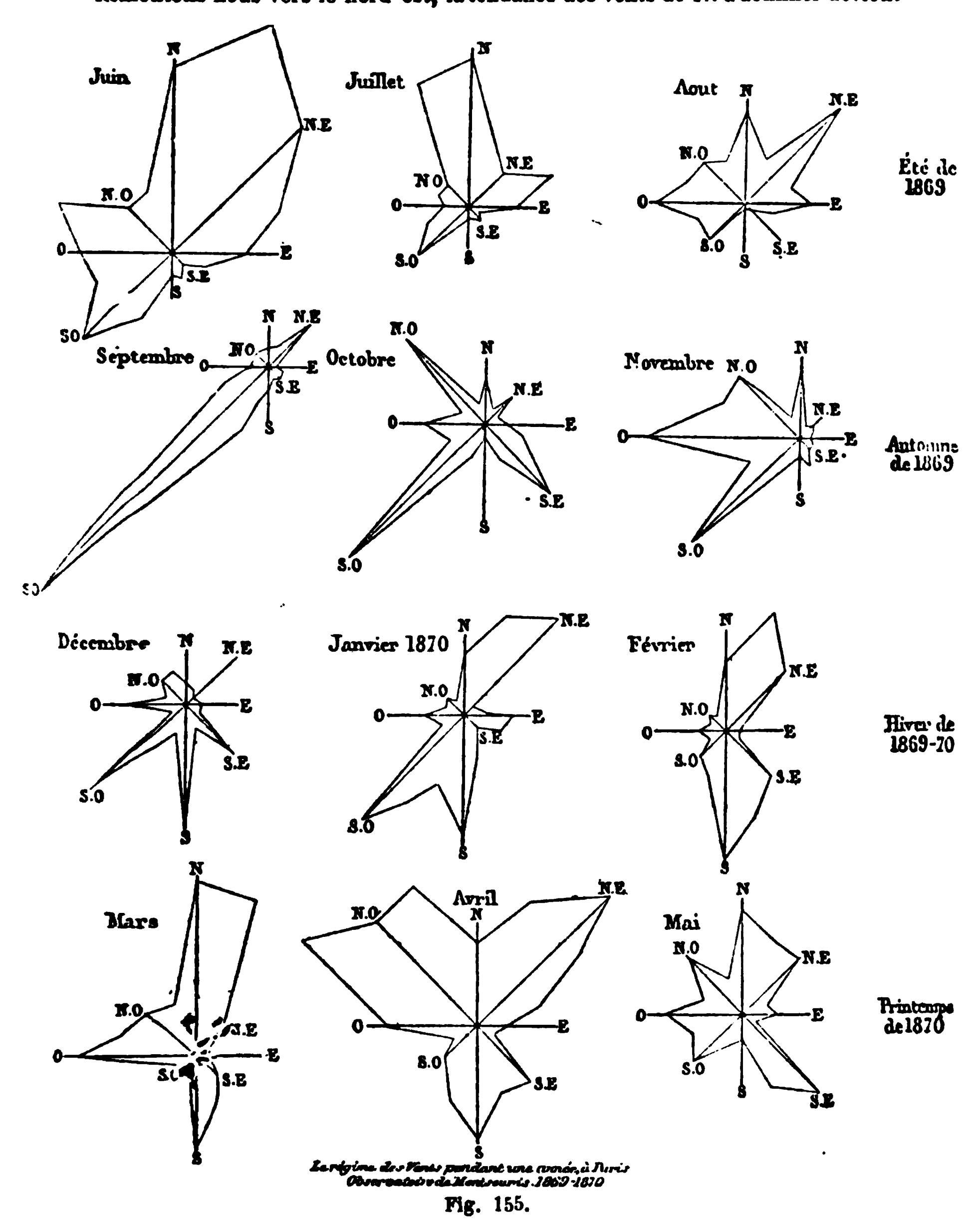
Régime moyen mensuel des différents Vents à Paris
Roses tracées d'après la moyenne de quarante ans d'observations à l'Observatoire.

Fig. 154.

grande force ; en hiver cependant les coups de vents de N. sont encore plus à craindre et sont souvent accompagnés de neige ou de grêle. Les vents étésiens acquièrent quelquefois en été une violence extraordinaire, et, bien qu'ils soient utiles aux navigateurs, ils ne laissent pas d'être parfois pernicieux, froids et chargeant l'ho-

rizon d'épaisses vapeurs. Ils nuisent quelquefois beaucoup à la végétation, et à peine ont-ils soufflé quelques heures, que les sommets des montagnes d'Albanie et de Grèce se couvrent de neige.

Remontons-nous vers le nord-est, la tendance des vents de N. à dominer devient



Le régime des Vents pendant une année, à Paris
Observatoire de Montsouris 1869-1870

Fig. 155.

de plus en plus marquée ; pendant la plus grande partie de l'année, le N. et le N.E. règnent à Constantinople.

Bercés sur la Méditerranée, les Grecs avaient étudié et décrit les diverses directions du vent qui enflait leurs voiles. Tout d'abord, ils n'en distinguaient que

deux; le nord, *Boréas*, et le sud, *Notos*. Cette distinction, bientôt insuffisante, fut rapidement complétée par le vent d'ouest, *Zephiros*, et par le vent d'est, *Euros*. Du temps d'Homère, ils avaient même déjà ajouté les intermédiaires : le N. E. ou Boréas-Euros, le S. E. ou Notos-Apheliotes, le S. O. ou l'Argestes-Notos, et le N. O. ou Zephiros-Boréas. On peut même remarquer dans Homère que le vent d'ouest, le Zephiros, est représenté avec ses caractères véritables ; ce n'est point le vent léger et sans force qui joue et folâtre au printemps avec Flore dans les compositions galantes du siècle de Louis XV : c'est le violent zéphire, le vent au



Fig. 156. — Carte des vents dominants en France.

souffle pernicieux, celui auquel les autres ne résistent pas ; c'est le zéphire au sifflement aigu qui pousse devant lui la tempête et soulève les flots. Or tels sont encore les caractères de notre vent d'ouest ou zéphire français, vent dominant de l'Europe. Il y a longtemps qu'Auguste lui élevait un temple dans les environs de Narbonne, pour l'engager à lui souffler moins fort dans les oreilles. Sur les côtes de Bretagne, ce vent désastreux rase la tête de tous les arbres à la hauteur des abris. Tous les pommiers de Normandie ont le tronc penché du côté opposé à la mer par la violence et la persistance de ce vent. On voit le même effet sur la côte d'Ingouville au-dessus du Havre, et avec un peu d'attention, presque tout le long de nos magnifiques rivages.

Tel est l'ensemble du régime des vents dans nos contrées. C'est en somme le courant équatorial qui domine ou la direction S. O. Le courant polaire, ou la direction N. E., vient ensuite. En glissant l'un contre l'autre ou l'un sur l'autre, ces deux courants généraux produisent des directions différentes, amenées d'ailleurs aussi par les conditions locales et par des phénomènes atmosphériques dont nous parlerons plus loin. Si nous dressons la rose mensuelle du régime des vents à Londres, nous constatons la domination du N. O. sous une forme plus marquée encore qu'à Paris. Le relevé des observations faites pendant vingt années consécutives (1840-1860) à l'Observatoire de Greenwich, que je viens de recevoir de mon célèbre correspondant, M. Glaisher, directeur du service météorologique de cet Observatoire, donne les moyennes suivantes pour la fréquence relative de chaque vent :

Le vent du	N. souffle en moyenne pendant	41	jours.
—	N.E......................	48	—
—	E.........................	22	—
—	S.E......................	20	—
—	S.........................	34	—
—	S.O......................	104	—
—	O.........................	38	—
—	N.O......................	24	—
Jours de calme	....	34	—
(*Voy. la fig.* 157.)		365	

La rose des vents de Bruxelles conduit au même résultat (voy. la fig. 158), et déjà nous avons vu la domination du courant équatorial par l'ensemble des observations faites sur l'Europe entière.

A Berlin, on avait commencé d'excellents travaux météorologiques qui pourraient nous être de la plus grande utilité pour une esquisse générale de la météorologie de l'Europe. Mais depuis que le militarisme y domine, depuis l'année 1863, où la fatalité poussa M. de Bismark au pouvoir, cette nation infortunée est complétement perdue pour la science, complétement perdue pour la philosophie, avec laquelle elle avait été si glorieusement alliée en ses jours de paix et de bonheur.

Il paraît certain que le vent ne se propage pas seulement par *impulsion,* mais encore par *aspiration.* Ce second mode mérite attention, parce qu'il fournit une donnée importante sur la cause du mouvement. C'est Franklin qui paraît avoir le premier fait l'observation. Il rapporte quelque part dans ses lettres qu'ayant voulu observer une éclipse de lune à Philadelphie, il en fut em-

pêché par un ouragan de nord-est, qui se manifesta sur les sept heures du soir, et amena, comme d'ordinaire, des nuages épais qui couvrirent tout le ciel. Il fut surpris, quelques jours après, d'apprendre qu'à Boston, situé à environ quatre cents milles au nord-est de Philadelphie, la tempête n'avait commencé qu'à onze heures du soir, longtemps après l'observation des premières phases de l'éclipse ; et, comparant ensemble les rapports recueillis dans diverses colonies, Franklin observa constamment que cette tempête du nord-est avait eu lieu d'autant plus tard, que la station était plus septentrionale, et qu'ainsi le vent soufflait dans un sens et avançait progressivement en sens contraire.

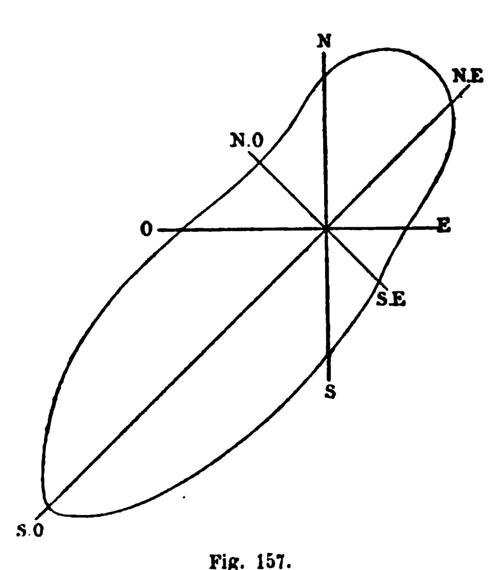


Fig. 157.
Rose moyenne annuelle des vents à Londres.

Depuis, l'on a observé un grand nombre d'ouragans présentant ce caractère particulier dans leurs directions. Cependant, presque toujours, le vent s'avance dans la direction vers laquelle il souffle.

Le terrible ouragan du S. O. du 29 novembre 1836 passa sur Londres à 10 heures du matin, à la Haye à 1 heure, à Amsterdam à 1 heure et demie, à Emden à 4 heures, à Hambourg à 6 heures, à Lubeck, Bleckede et Salzwedel à 7 heures, enfin à Stettin à 9 heures et demie du soir. Il se transportait donc dans la même direction que celle dans laquelle il soufflait, et il mit 10 heures à parcourir l'espace qui sépare Londres de Stettin. Sa vitesse était par conséquent de 86 mètres par seconde ou de 13 kilomètres par heure.

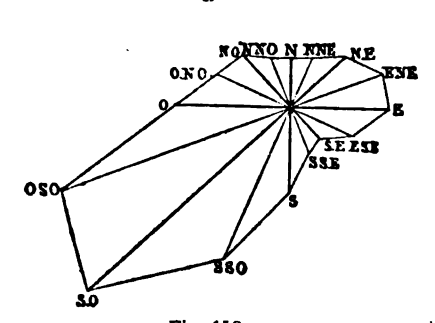


Fig. 158.
Rose moyenne annuelle des vents à Bruxelles.

Peut-être le vent commence-t-il dans un point situé au milieu

de la région qu'il occupe et de là se dirige-t-il en arrière et en avant. Les brises de terre et celles de mer, dont la cause est bien connue, confirment cette théorie. La brise de mer se fait sentir d'abord sur la côte, puis au bout de quelques heures dans l'intérieur des terres et en pleine mer. Il arrivera donc qu'un vent d'est soufflera d'abord en Allemagne et plus tard en Hollande et en Russie.

Voici, en esquisse générale, la distribution dominante du vent sur l'ensemble du globe.

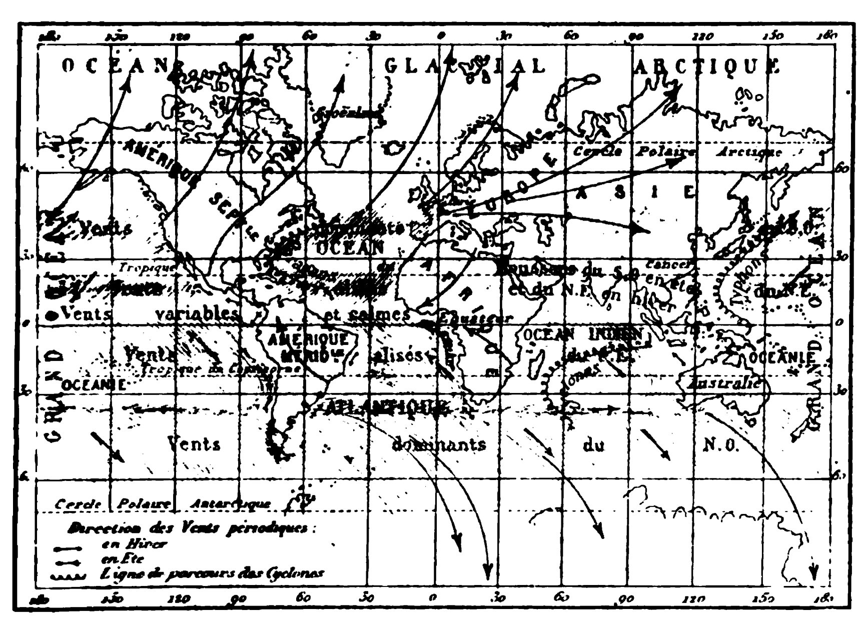


Fig. 159. — Carte des vents généraux dominants sur le globe.

Supposons un navire qui parte du cercle polaire arctique pour se diriger sur l'équateur, le traverser, et se rendre au cercle polaire sud. Voici quelle succession de vents il rencontrera :

1° En mettant à la voile, il navigue dans la région des vents du sud-ouest, ou contre-alisés du nord, appelés ainsi parce qu'ils soufflent dans une direction opposée aux alizés de leur hémisphère.

2° Après avoir croisé le parallèle de 50°, et avant d'atteindre celui de 35°, il traverse la zone des vents de la partie de l'ouest, où le sud-ouest domine, et où le courant du nord-est prévaut également sur les autres vents.

3° Entre le 40° et le 45° degré, il y a une région de vents très-variables et de calmes. Les vents y soufflent, dans l'année, également des quatre quartiers pendant trois mois.

4° Aux vents d'ouest, qui ont prévalu jusqu'à présent, succède la région des calmes du tropique du Cancer, puis celle des vents alizés, qui conduisent le navire jusqu'au parallèle de 10° nord, où

5° Il entre dans la zone de calme équatoriale, qui n'a qu'une largeur de 5°.

6° De 5° nord jusqu'au 30° sud soufflent les vents alizés du sud-est.

7° Vient ensuite la zone calme du tropique du Capricorne, analogue à celle que nous avons trouvée au tropique du Cancer.

8° Du 35° au 40° degré sud, dominent les vents qui soufflent moyennement de l'ouest, en s'étendant jusqu'au N. O. et au S. O.

9° Enfin le navire atteint au 40° degré les contre-alizés du sud, qui ont la direction du nord-ouest, et prévalent aussi loin que les observations ont été faites, du côté du pôle austral.

Tel est l'état général du vent à la surface du globe, et en particulier dans nos contrées.

Si maintenant nous considérons l'*intensité* du vent, nous observons que sa variation, en apparence si irrégulière, est cependant unie comme toute chose aux mouvements de la Terre, aux saisons et aux jours. D'après vingt années de comparaisons faites à Bruxelles, le vent est moins intense pendant les jours les plus longs, et plus intense, au contraire, pendant les jours les plus courts : en juin, les indications de l'intensité du vent donnent 0,832, et en décembre 1,227. Le mois de septembre cependant semble faire exception, car il présente évidemment le minimum et ne donne moyennement que 0,804 ; mais ce mois fait en quelque sorte exception pour nos climats, à plusieurs égards.

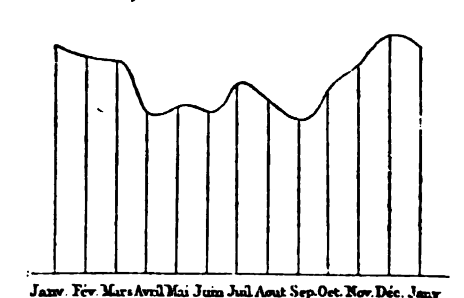


Fig. 160. — Intensité mensuelle des vents.

Il est remarquable, du reste, que pendant les six mois où le soleil est au-dessous de l'équateur, la force du vent surpasse la

moyenne de l'année, tandis que, au contraire, la force est généralement inférieure à la moyenne pour chacun des six autres mois.

L'intensité du vent varie également suivant les heures du jour. L'anémomètre de l'Observatoire de Bruxelles qui enregistre les vents de 5 en 5 minutes montre que cette variation diurne de l'intensité du vent s'étend d'une moyenne de 0,15 (minuit à 4 heures du matin), à 0,21 (10 heures), 0,26 (midi), 0,29 (2 heures), 0,28 (4 heures) et 0,23 (6 heures du soir). Cette variation est visible sur la courbe de la figure 161.

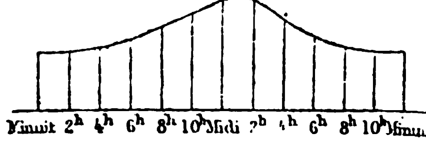


Fig. 161. — Intensité diurne des vents.

Ainsi le vent, vers 2 heures de l'après-midi, a une force à peu près double de celle qu'il a vers le milieu de la nuit.

Le jour viendra où la marche des vents variables sera déterminée pour nos climats comme la circulation générale des alizés et des moussons l'est depuis longtemps pour les régions tropicales. Le jour viendra où les vents supérieurs auront révélé au météréologiste la route invisible qu'ils suivent dans les hauteurs aériennes, comme les planètes ont révélé à l'astronome l'orbite mystérieuse de laquelle elles ne s'écartent jamais. Alors nous connaîtrons pour chaque jour de l'année et pour chaque pays la direction de l'onde atmosphérique qui doit passer sur nos têtes. Alors nous saurons mettre le cap de l'aérostat sur un point déterminé de la rose des vents, et voyager dans les airs, sur l'aile souple et moelleuse des brises parfumées. Le grincement de la massive locomotive ne fera plus frémir l'inerte rail des voies ferrées. Les voies aériennes ouvertes à l'industrie par la science, comme toutes les autres l'ont été successivement, nous offriront leurs chemins inusables pour la plus magnifique, la plus sublime des traversées.

Ce progrès serait réalisé au vingtième siècle, avant cent ans, si les soldats disparaissaient enfin de l'Europe.

Les courants, dont nous venons d'étudier les lois, jouent un grand rôle dans la nature. Ils favorisent la fécondation des fleurs en agitant les rameaux des plantes et en transportant le pollen à de grandes distances. Ils renouvellent l'air des villes, et adoucissent les climats du nord en leur apportant la chaleur du midi. Sans eux les pluies seraient inconnues dans l'intérieur des continents, qui se transformeraient en déserts arides. Sans eux la Terre

serait presque inhabitable, des contrées entières deviendraient des foyers d'infection, de vastes cimetières. Nous avons vu dans notre premier livre les effets délétères de l'air confiné. L'homme devient pour l'homme le plus redoutable poison ; les relations de typhus et de pestes en fournissent les preuves lamentables. Les vents, les vents seuls, peuvent atténuer ou prévenir ces maux, en balayant les émanations, en les disséminant dans l'espace immense, en remplaçant une atmosphère viciée par un air frais et salubre. D'ailleurs, il en est de l'air comme de l'eau ; le mouvement seul les conserve, soit qu'ils aient une vie propre dont l'essence nous est inconnue, soit que des animalcules ou des débris végétaux et animaux, en se décomposant par le repos, répandent dans une atmosphère immobile leurs principes délétères.

Les vents ne promènent pas seulement la vie; ils transportent aussi la mort sur les contrées qu'ils dominent. La fièvre jaune, la peste, le choléra se développent par contagion suivant les courants atmosphériques particuliers à certaines régions.

Vingt lieues de distance ne mettent pas Rome à l'abri de l'air meurtrier qui a traversé les marais pontins. A Paris, le vent d'ouest souffle soixante-dix jours dans l'année ; placez un *agro romono* dans la Mayenne, dans la Sarthe, dans la Touraine, et la population parisienne sera décimée par des fièvres intermittentes et frappée dans sa virilité[1] !

Nous avons vu que pour toutes les latitudes égales à celles de l'Europe, et même un peu plus méridionales, le vent dominant est le vent d'ouest, qui apporte à l'Europe l'air chaud de l'Atlantique et donne à notre Europe ce climat unique qui permet de cultiver l'orge et quelques céréales jusqu'au cap Nord, tandis que le Groënland, privé de ces haleines bienfaisantes, ne dégèle jamais, quoiqu'il atteigne presque les latitudes du nord de l'Écosse. La belle, riche et savante ville de Boston, aux États-Unis, est à la même latitude où les oliviers sont cultivés en Espagne. Elle éprouve cependant des hivers qui, sur les étangs et les petits lacs d'alentour, font pénétrer la glace à un mètre. Les cinq grands lacs américains, véritables mers d'eau douce, gèlent profon-

1. Il y a parfois des variations singulières dans la santé publique, qui ne peuvent être produites que par le vent. Ainsi, par exemple, le 26 juillet 1871, la moitié des habitants de Paris ont eu la cholérine. Il n'y avait pas eu d'autre perturbation météorologique qu'un vent de tempête formidable qui souffla pendant toute la nuit précédente.

dément et portent l'hiver des chemins de fer improvisés, comme ils portent des vaisseaux pendant l'été. Quelle triste production que la glace auprès des vins et des huiles d'olives que le beau climat de Bordeaux et de l'Espagne fournit aux cultivateurs indolents! Eh bien, l'activité intelligente du citoyen des États-Unis a transformé cette glace même en une vraie récolte qui s'exporte dans l'Inde et dans les régions tropicales, à un prix sans doute bien supérieur à ce que les Asturies retirent de leurs oliviers.

Vers le milieu de notre pays se trouve le point du plus beau climat du monde entier,en sorte que, si vers l'orient du méridien de Paris on choisit une localité déterminée, toute autre localité quelconque dans le monde entier, à pareille latitude, aura un climat moins favorable. La nature a donc fait beaucoup pour la France, et les arguments diplomatiques d'outre-Rhin ne changeront pas ce climat devenu légendaire, ce ciel que l'on peut envier, mais auquel on ne peut ravir ni son charme, ni sa douceur. Il nous reste à faire beaucoup nous-mêmes pour nous relever de notre amollissement passager, et affirmer devant le monde notre puissance intellectuelle, la seule véritable, car, comme le disait Napoléon, « la force ne fonde rien. »

Considérons maintenant le rôle du vent dans la climatologie.

Les vents ont une influence dominante sur la distribution des températures, en apportant aux différents pays, selon leur exposition, des modifications permanentes au climat qu'ils posséderaient sans eux. Le régime des vents entraîne à sa suite un régime de température qui lui est intimement lié. Les courants de l'atmosphère apportent avec eux la température des contrées d'où ils viennent. Chacun a remarqué que le vent du nord est généralement froid et le vent du sud généralement chaud. Mais il serait vulgaire de s'en tenir à ces remarques vagues, et le rôle de la science consiste à analyser les faits. On a donc, depuis bien des années déjà, pris soin de comparer les températures dénotées par le thermomètre aux directions du vent observé, et l'un des premiers résultats a été de constater qu'en France les vents provenant du sud-est et du sud produisent un accroissement de température de 3 ou 4 degrés sur ceux qui soufflent de la direction opposée. En comparant les températures moyennes correspondant aux différents vents, pour différentes villes de l'Europe, on a constaté que l'in-

fluence du vent varie suivant les lieux. C'est ce que l'on peut facilement remarquer par le petit tableau suivant :

INFLUENCE DES VENTS SUR LES TEMPÉRATURES.

	N.	N. E.	E.	S. E.	S.	S. O.	O.	N. O.	Différences
Paris	11°,2	11°,5	13°,2	15°,1	15°,2	14°,7	13°,4	11°,9	4°,0
Carlsruhe	10 5	8 6	10 5	12 1	12 5	10 9	12 4	11 2	4 5
Londres	7 7	8 1	9 6	10 6	11 4	10 8	10 2	8 7	3 7
Dublin	7 4	8 1	9 0	9 6	10 5	10 4	8 9	7 5	3 1
Hambourg	8 0	7 6	8 4	9 5	10 0	10 1	9 2	8 4	2 5
Zecken (Silésie)	5 7	6 4	7 6	8 2	9 6	9 5	8 2	6 9	3 9
Arys (Prusse)	4 1	4 4	3 4	7 9	6 5	6 4	7 0	8 1	4 7
Reykiawick (Islande)	1 7	2 1	5 1	7 2	8 1	3 6	7 7	7 6	6 4
Moscou	1 2	1 4	3 5	4 0	6 0	5 7	5 4	3 3	4 8

On voit que la différence moyenne entre l'influence des vents chauds et celle des vents froids s'élève à 4 degrés pour Paris et même à 6 degrés pour l'Islande. Il y a souvent des différences beaucoup plus marquées encore.

Presque partout le vent le plus froid souffle d'une direction comprise entre le nord et l'est. Le vent le plus chaud souffle à peu près partout du S. S. O. A mesure que l'on pénètre dans l'intérieur du continent, il se rapproche davantage de l'ouest.

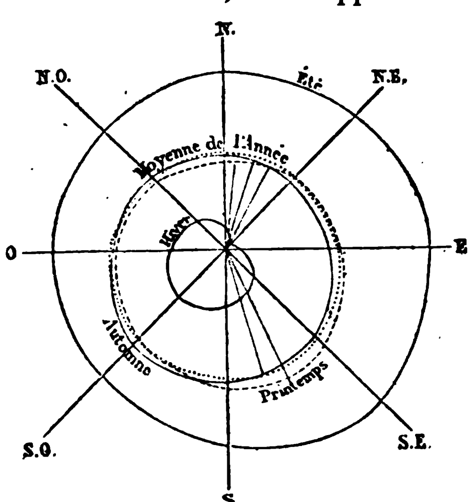


Fig. 162. — Rose thermométrique des vents.

La fig. 162 montre cette influence des vents sur la température moyenne de l'année à Paris, et sur celle des saisons. Elle a été construite en comptant à partir du centre, sur les directions de chaque vent, un millimètre par degré, et en réunissant par une courbe les chiffres relatifs à chaque vent. C'est en hiver que le vent du S.O. élève le plus la température et que le N. E. est le plus froid.

Ce qui précède est une nouvelle confirmation de cette vérité qu'en météorologie aucun phénomène n'est isolé; tous agissent et réagissent les uns sur les autres. A peine le vent de S. O. souffle-t-il dans nos contrées, qu'il agit sur la température, non-seulement par sa chaleur, mais encore par les vapeurs qu'il entraîne et l'état du ciel qui en est la

conséquence. En hiver, les vents humides de l'ouest sont remarquablement chauds, parce qu'ils couvrent le ciel de nuages et s'opposent ainsi au rayonnement terrestre; en été, ils sont plus

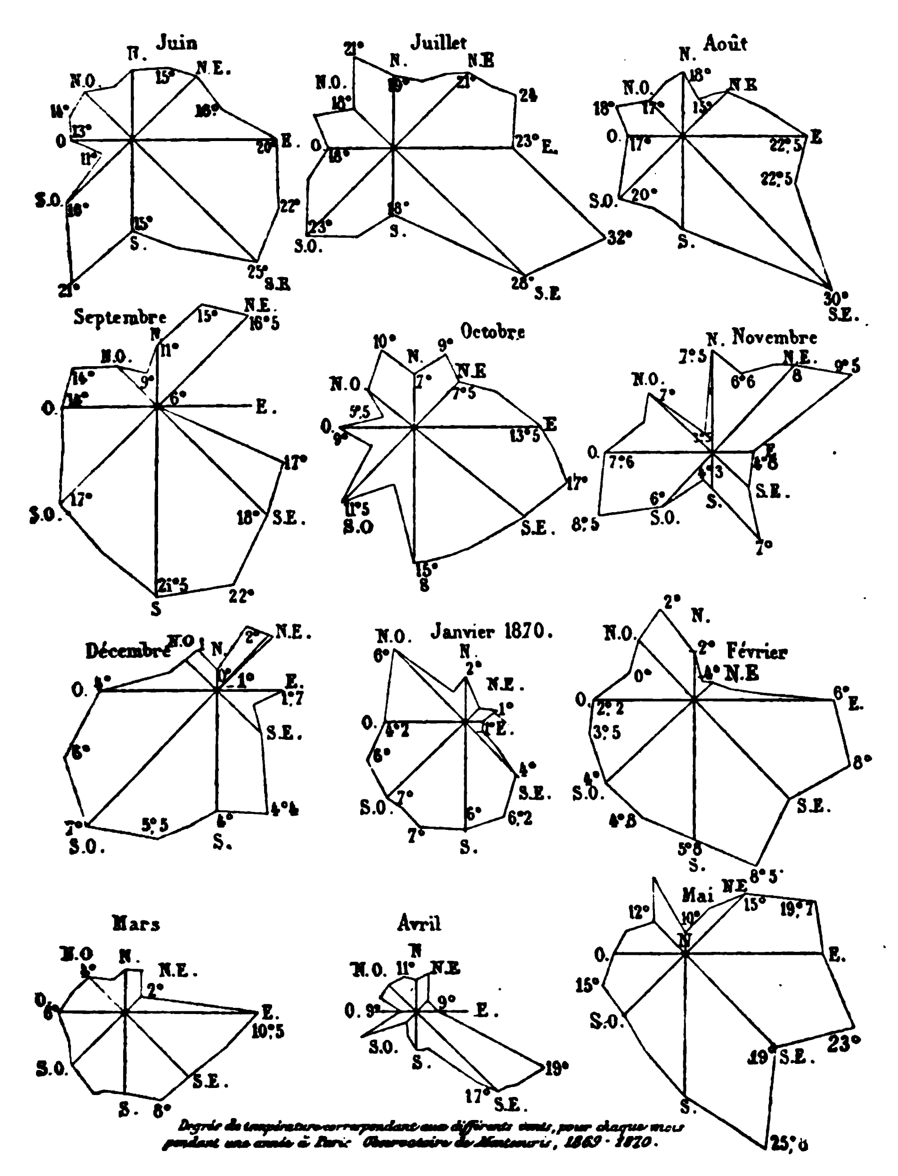


Fig. 163.

frais, car ils empêchent les rayons solaires d'arriver jusqu'à la surface du sol. Ainsi, on voit qu'en été, c'est le N.O. qui est le plus frais, et le S. E. le plus chaud.

L'Observatoire météorologique de Montsouris a pris soin de faire ces comparaisons, qui intéressent à un si haut degré le climat d'un pays. La page précédente vient d'offrir les roses thermométriques de chaque mois pendant une année entière. On y voit, dès le premier coup d'œil, que dans l'été de 1869, c'est le vent du S. E. et E. S. E. qui a été le plus chaud; qu'en septembre, le minimum de température a correspondu avec le vent d'E. et le maximum avec le S. et S. S. E. En octobre, le maximum appartient aux vents d'entre S. et E. Les figures de décembre, janvier, février et mars montrent sous une forme bien sensible l'accroissement de température dû aux vents de S. O., S. S. E., et l'abaissement dû aux vents du N. E. En mai, le maximum correspond aux vents de S. S. E. et E. S. E.; le minimum au vent du nord.

Toutes ces observations montrent combien cette influence est grande, et donnent une idée des profondes modifications qu'elle doit nécessairement apporter à la température moyenne du lieu que plusieurs de ces vents élèvent, tandis que d'autres au contraire l'abaissent. Ces résultats généraux font suffisamment voir que la détermination exacte des températures diurne, mensuelle et annuelle est liée d'une manière intime à la fréquence relative des vents régnants.

Les vents n'agissent pas seulement sur la température : ils agissent aussi sur la pression atmosphérique.

Quand les vents du N. et du N. E. soufflent, le baromètre s'élève; il s'abaisse quand ce sont les vents du S. et du S. O.

Voici le résultat d'un grand nombre d'années d'observations dans les principales villes de l'Europe, qui mettent bien en évidence l'influence du vent sur le baromètre.

INFLUENCE DES DIFFÉRENTS VENTS SUR LE BAROMÈTRE.

Vents.	Paris.	Londres.	Copenhague.	Berlin.	Halle.	Vienne.	Stockholm.	Pétersbourg.	Moscou.
	m. m.	m. m.	m. m.	m. m.	m. m.	m. m.	m. m.	m. m.	m. m.
N.	759,09	759,20	764,52	758,68	755,61	749,88	757,91	759,72	743,07
N. E.	759,49	760,71	765,13	759,36	756,00	749,14	758,88	761,97	745,06
E.	757,24	758,93	763,69	758,77	754,51	745,78	757,31	762,00	743,90
S. E.	754,03	756,83	759,49	754,69	752,14	748,30	754,73	762,25	741,76
S.	753,15	754,37	759,54	751,33	751,10	747,74	753,90	759,90	740,63
S. O.	753,52	755,25	759,11	752,57	751,39	745,89	754,12	759,88	740,34
O.	755,57	757,28	761,07	756,00	752,21	745,84	756,04	759,43	741,[illegible]
N. O.	757,78	758,03	763,49	757,62	754,24	749,16	756,56	757,58	741,76
Moy.	756,22	757,58	762,26	756,02	753,29	747,79	756,18	760,64	742,19

Le résultat général de toutes ces recherches est que le baromètre atteint sa plus grande hauteur par les vents compris entre

le nord et l'est, c'est-à-dire, par les courants les plus froids, et sa plus faible élévation par les vents compris entre le sud et l'ouest, qui sont précisément les plus chauds.

Des conclusions analogues ont été obtenues dans d'autres contrées. Ainsi, sur la côte orientale des États-Unis et en Chine, le baromètre est moyennement plus haut par les vents de nord-ouest, qui sont les plus froids dans ces régions, et moyennement plus bas par ceux de sud-est, dont la température est la plus grande.

Le fait de l'élévation du baromètre par les vents froids et de son abaissement par les vents chauds est général partout où on a observé.

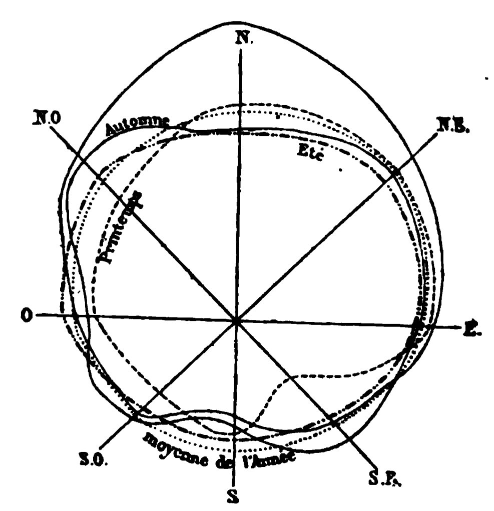


Fig. 164. — Rose barométrique des vents.

On peut conclure sous une forme générale pour tout notre hémisphère, que *le baromètre atteint son maximum quand les vents soufflent du nord et de l'intérieur des continents, et son minimum quand ils viennent de l'équateur ou de la mer.*

En Europe, les vents les plus pluvieux sont compris entre le sud et l'ouest, et les vents les plus secs entre le nord et l'est. C'est ce qui fait qu'il pleut plus souvent quand le baromètre est bas que quand il est haut.

La figure 164 reproduit la *rose barométrique des vents* pour Paris. La courbe pointillée est la moyenne de l'année. Les quatre autres sont celles des quatre saisons. On voit que, pour la moyenne de l'année, c'est par les vents de N. E. que le baromètre est le plus haut et par les vents du S. qu'il est le plus bas. En hiver, c'est par le vent du N. qu'il atteint sa plus grande hauteur (qui dépasse de beaucoup la hauteur moyenne) et par le S. S. O. qu'il descend au plus bas. En été, la courbe est très-ample pour toute la région nord; en automne elle est assez irrégulière; au printemps, le minimum barométrique le plus marqué arrive par le vent du S. E.

De même que les vents influent, suivant la direction d'où ils viennent, sur la température et sur la pression de l'air, sur le thermomètre et sur le baromètre, de même aussi ils agissent sur l'*humidité*, annoncent, amènent ou éloignent la pluie.

L'expérience journalière nous apprend déjà que l'air n'est pas également humide par tous les vents. Quand le laboureur veut sécher ses blés ou ses foins; quand la ménagère étend son linge mouillé, leurs désirs sont bientôt remplis si le vent d'est souffle d'une manière continue ; mais par un vent d'ouest il faut un temps beaucoup plus long. Certaines opérations de teinture ne réussissent que par les vents d'est. Quelque instructives que soient ces observations, elles ne sauraient cependant nous conduire à des lois rigoureuses.

Nous avons vu au Livre premier, p. 65, que l'air contient constamment, outre les gaz qui le composent, une certaine quantité de *vapeur d'eau*, et que cet élément joue le principal rôle dans l'absorption et la distribution de la chaleur à la surface du globe, l'oxygène et l'azote n'ayant à côté qu'un rôle insignifiant. Il serait de la plus haute importance de connaître numériquement la quantité de vapeur qui existe dans les diverses régions du globe. La vie des plantes et des animaux, le caractère du paysage, dépendent de cet élément aussi bien que de la température. La sécheresse et l'humidité de l'air ont la plus grande influence sur le développement des maladies. Ce que l'on sait déjà, c'est que sur toutes les mers, l'air est presque complétement saturé de vapeur d'eau. A mesure qu'on s'éloigne des rivages cette saturation diminue. Elle est cependant parfois complète également sur la terre ferme après de longues pluies, parce que l'eau douce se vaporise plus facilement que l'eau salée. Mais en somme la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air varie selon les pays, et il y a des régions, comme les déserts de l'Afrique et de l'Asie, les steppes de la Sibérie, où le sol ne produit pas la moindre évaporation et où l'air est de la plus grande sécheresse. Les vents qui viennent de la mer apportent de l'air humide ; ceux qui viennent des continents apportent de l'air sec.

La quantité de vapeur d'eau que l'air peut contenir en suspension varie selon la température, dans les proportions suivantes :

A —24°	sa saturation est de	1gr		A 6°	sa saturation est de	8gr	25
—15	—	2		10	—	10	57
—9	—	3		15	—	14	17
—5	—	4		20	—	18	77
—2	—	5		25	—	24	61
0	—	5	66	30	—	32	
1	—	6		35	—	41	
4	—	7	32				

A 100 degrés l'air peut absorber son propre volume de vapeur

d'eau, la tension de l'eau devient égale à celle de l'air, elle bout, et la pression de la vapeur est d'une atmosphère.

Ainsi, plus l'air est chaud, plus il peut contenir d'eau à l'état de vapeur invisible. Supposons 1 mètre cube d'air saturé de vapeur à 20°: il en contient 18 gr. 77. Or si un courant d'air froid arrive et le réduit à 0°, comme il n'en peut plus contenir que 5 gr. 66, il est obligé d'en laisser tomber 13 grammes environ, s'il n'a pas changé de volume lui-même. Cette condensation amènerait des pluies quotidiennes si des courants froids arrivaient chaque jour sur de pareils états de saturation, et chaque bouffée d'air transportée de la surface du sol à quelques centaines de mètres de hauteur se trouverait par cela même assez refroidie pour donner lieu à des vapeurs condensées.

La quantité de vapeur est aussi petite que possible lorsque le vent souffle entre le N. et le N. E., elle augmente quand il tourne à l'E., au S. E. et au S., et atteint son *maximum* entre le S. et le S. O. pour diminuer de nouveau en passant à l'O. et au N. O. La cause de ces différences est bien simple. Avant d'arriver à nous, les vents d'ouest passent sur l'Atlantique et se chargent de vapeurs, tandis que ceux qui soufflent de l'est viennent de l'intérieur des continents de l'Europe ou de l'Asie. Ces vapeurs se résolvent déjà en pluie lorsque les vents occidentaux arrivent en France; mais cette eau se vaporise presque immédiatement, et il en résulte que ces vents continuent d'être plus chargés de vapeur que ceux de l'est. Le vent de O. S. O., venant à la fois de la mer et de contrées plus chaudes, peut se charger d'une plus grande proportion de vapeur d'eau que le vent d'ouest, qui est plus froid. Il n'en est pas de même pour l'humidité *relative*.

Ainsi, quoique par le vent du nord l'air contienne une proportion de vapeur d'eau beaucoup moindre que par le vent du sud, il n'en est pas moins infiniment plus humide, à cause de sa basse température. Les saisons modifient encore cette règle générale. Voici du reste cette influence du vent pour chaque saison :

HUMIDITÉ RELATIVE PAR LES DIFFÉRENTS VENTS DANS LES QUATRE SAISONS.

Vents.	Hiver.	Printemps.	Été.	Automne.
N.	89 5	75 0	67 6	78 7
N. E.	91 2	72 3	67 4	82 6
E.	92 6	66 9	61 3	75 7
S. E.	85 5	71 4	66 3	79 2
S.	83 0	70 3	67 4	76 2
S. O.	81 9	70 3	69 9	78 6
O.	80 9	71 7	71 4	80 6
N. O.	83 2	73 4	68 8	32 7

(*Voy. fig.* 165.)

On est frappé d'abord du contraste qui existe entre 'hiver et l'été. Quoique dans ces deux saisons la proportion de vapeur soit moindre par les vents d'est que par ceux d'ouest, cependant la température peu élevée de ces vents en hiver rétablit l'équilibre, et dans cette saison le vent d'est est le plus humide, celui d'ouest le plus sec. En été, c'est le contraire: c'est lorsque chacun de ces vents commence à souffler que le contraste est le plus frappant. Si, par exemple, en hiver, les vents d'ouest ont régné quelque temps avec un ciel assez pur, et qu'il s'élève tout à coup un vent d'E. ou de N. E., alors le ciel se voile en peu de temps ; les régions inférieures de l'atmosphère se couvrent de brouillards. Mais si le vent d'est continue à souffler, alors le ciel devient serein, quoique l'air reste humide. Si l'inverse a lieu, c'est-à-dire si le ciel est couvert le vent étant à l'est, et qu'il passe subitement au sud, le ciel devient pur et l'atmosphère sèche, parce que l'air échauffé dissout la vapeur d'eau et s'éloigne du point de saturation. C'est seulement lorsque ce vent a régné pendant quelques jours et nous a apporté une grande quantité de vapeurs que l'atmosphère redevient humide.

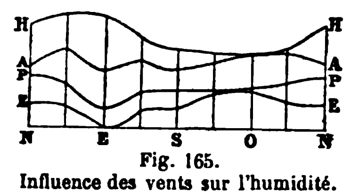


Fig. 165.
Influence des vents sur l'humidité.

L'influence des différents vents sur *la pluie* est plus frappante encore que sur l'humidité atmosphérique. La voici en chiffres bien significatifs, d'après les constatations faites à l'Observatoire de Bruxelles :

VENTS	DURÉE DES PLUIES		QUANTITÉ DES PLUIES		DURÉE de la même direction du vent *c*.	DURÉE relative de la pluie $\frac{a}{c}$	QUANTITÉ d'eau par heure $\frac{b}{a}$
	8 ans *a*.	moy. ann.	8 ans *b*.	moy. ann.			
	h. m.	h. m.	mm.	mm.	h.		mm.
N.	202 44	22 35	174 75	19 42	4 919	0 041	0 86
N. O.	632 9	70 8	505 22	55 04	6 370	0 099	0 80
O.	1179 4	130 59	971 42	107 94	12 691	0 093	0 82
S. O.	1965 23	218 21	1580 28	175 59	19 133	0 103	0 80
S.	574 3	63 47	442 30	49 14	9 101	0 063	0 77
S. E.	138 8	15 21	128 68	14 29	6 865	0 020	0 82
E.	208 35	23 8	136 79	15 20	9 766	0 021	0 64
N. E.	284 32	31 35	311 43	34 60	7 002	0 041	1 09
Année.	5184 38	575 54	4250 87	472 32	75 847	0 064	0 82

Les vents, quant à la *durée* absolue des pluies *a*, se classent donc dans l'ordre suivant : S. O., O., N. O., S., N. E., E., N., S. E. ; et l'on peut dire que le même ordre subsiste à peu près pour la *quantité* absolue d'eau tombée *b*. Il en est encore à peu près de même quand on a égard à la *durée* ordinaire des vents *c*. Mais pour la durée relative de chaque vent, on voit que, même en tenant compte de leur fréquence, les vents de S. O. sont ceux qui accompagnent le plus souvent les pluies ;

les vents de N. O. et d'O., sous ce rapport, se rangent immédiatement auprès d'eux. Les vents les moins pluvieux sont ceux d'E. et de S. E.

En ce qui concerne l'abondance des pluies, ou la *quantité d'eau* qu'elles donnent par heure, les rapports se trouvent à peu près renversés ; les vents de N. E. et de N. donnent le plus de pluie ; ceux de S. S. O. et N, O. sont plutôt au-dessous de la moyenne générale.

Le tableau suivant montre les quantités d'eau tombées, et la durée de la pluie correspondant aux divers degrés d'intensité du vent.

Les pluies les plus nombreuses et celles qui en somme donnent le plus d'eau, sont celles qui tombent sous une intensité de vent faible : vent très-faible et vent très-fort donnent peu d'eau, celui-ci surtout. « Petite pluie abat grand vent. »

INTENSITÉ DU VENT.	DURÉE DE LA PLUIE D'APRÈS L'OBSERVATION.	QUANTITÉ DE LA PLUIE D'APRÈS L'OBSERVATION.	QUANTITÉ D'EAU PAR HEURE.
0	h. m.	m. m.	m. m.
1	268 25	216,0	0,81
2	1646 24	1408,9	0,86
3	1037 30	882,8	0,85
4	759 24	613,2	0,81
5	623 45	417,6	0,66
6	285 2	232,8	0,82
7	227 50	177,6	0,78
8	157 55	136,0	0,86
9	75 20	60,5	0,80
10	39 0	40,6	1,04
11	52 5	31,2	0,60
12	19 20	15,7	0,81
13	17 55	13,0	0,74
14	16 5	10,0	0,62
	5226 »»	4255,9	0,816

Nous devons maintenant nous rendre compte de la force et de la vitesse du vent considéré en lui-même.

On connaît cette boutade sur la légèreté des femmes, thème chéri du dix-septième siècle :

Quid levius plumâ? pulvis. — Quid pulvere ? ventus. — Quid ventû ? mulier. — Quid muliere ? nihil.

« Quoi de plus léger que la plume ? la poussière. — Que la poussière ? le vent. — Que le vent ? la femme. — Que la femme ? rien. »

Le satirique Bussy-Rabutin avait fait peindre dans un des encadrements d'une salle de son château une grande balance, dont un des plateaux portait un papillon, et l'autre une dame. La balance penchait du côté du papillon ! Mais le curieux du symbole, c'est que la dame représentée était la cousine de Bussy, Mme de Sévigné !... M. Babinet, qui raconte le fait, ajoute qu'il le tient d'un témoin oculaire.

Sans continuer la comparaison, nous pouvons remarquer, il est vrai, que le vent est à la fois d'une extrême légèreté et d'une extrême

puissance. Nul élément n'est plus capricieux ni plus mobile; nul n'est capable à la fois de plus douces caresses ni de plus étranges colères. L'échelle de ses variations est d'une telle amplitude, qu'il est même difficile de nous rendre exactement compte de toute la gamme qu'il peut parcourir, depuis le souffle qui ride à peine la surface d'un lac tranquille, jusqu'à l'ouragan qui déracine les arbres et renverse les édifices. La table suivante peut donner une idée des différents degrés de vitesse qu'il peut acquérir :

TABLE DES VITESSES DU VENT.

	Vitesse par seconde.	Vitesse par heure.	
	Mètres.	Mètres.	Lieues.
Vent à peine sensible	0 5	1 800	0 45
Vent sensible	1 0	3 600	0 90
Faible brise	2 0	7 200	1 80
Vent modéré	5 2	19 800	4 95
Jolie brise	7 5	21 000	5 25
Vent frais ou brise (tend bien les voiles)	10 0	36 000	9 00
Vent le plus convenable aux moulins	15 0	54 000	13 50
Vent très-bon pour la marche en mer	20 0	72 000	18 00
Forte brise	22 5	81 000	20 25
Grand frais (fait serrer les hautes voiles)	27 0	97 200	24 30
Vent impétueux	36 0	104 400	26 10
Tempête	45 0	162 000	40 50
Ouragan qui renverse les édifices	50 0	180 000	45 00
Vitesse maximum de rotation d'un cyclone	66 6	240 000	60 00
Id. de la rotation additionnée à la translation.	83 3	300 000	75 00

On ne sait pas encore à quel degré de vitesse peuvent atteindre les masses d'air emportées par les cyclones, car c'est dans les régions supérieures de l'atmosphère, là où le milieu n'offre qu'une faible résistance aux courants aériens, que le vent de tempête doit avoir sa plus grande rapidité. Aussi ne suffit-il point de constater la marche des molécules d'air au niveau du sol, ou à une faible hauteur, pour se faire une idée de la vitesse avec laquelle se meut la masse atmosphérique emportée par l'ouragan. J'ai constaté dans mes voyages en ballon (*Comptes rendus*, 1868, I, p. 1116), que la vitesse de l'air augmente généralement avec la hauteur. Dans l'une de ses ascensions, M. Coxwel a fait un voyage de 110 kilomètres en 60 minutes, alors qu'au-dessous de lui les instruments indiquaient 23 kilomètres à peine dans la même heure. Le ballon qui pendant le siége de Paris fut porté jusqu'à Christiania, capitale de la Norvége, parcourut 1600 kilomètres en 15 heures, c'est-à-dire plus de 26 lieues à l'heure. Il n'y avait cependant qu'un vent ordinaire à la surface du sol. Le ballon du couronnement de Napoléon, qui fut lancé dans le ciel de Paris, le 16 décembre 1804, à

11 heures du soir, vola directement vers Rome porter la nouvelle de l'obéissance du pape à l'empereur, tomba vers 7 heures du matin non loin de la ville, en brisant contre le tombeau de Néron la couronne impériale de 3000 verres de couleur qu'il portait; il avait fait 1300 kilomètres en 8 heures, soit 162 kilomètres à l'heure! Il y a encore une vitesse aérostatique plus grande : Un jour, le ballon de Green fut emporté sur Londres avec une force de 64 mètres par seconde! Ces faits doivent nous donner une idée de la vitesse du cyclone à une certaine hauteur au-dessus du sol, quand sur la terre, semée d'obstacles, il progresse au taux de 45 lieues à l'heure; et sur l'Océan avec la rapidité de 60 et 75 lieues, quintuplant la grande vitesse de nos locomotives! Cette rapidité si formidable de l'air à la surface de l'Océan et le frottement des molécules aériennes, expliquent, comme Cicéron le faisait déjà remarquer il y a deux mille ans, pourquoi la température de l'eau s'élève après les tempêtes.

Quant à la pression exercée par le courant aérien qui se meut avec une pareille vitesse, elle est vraiment formidable. Dans un mémoire sur la construction des phares, Fresnel estimait la plus forte pression du vent à 275 kilogrammes par mètre carré, mais il est très-probable que dans nombre d'ouragans, ce chiffre a été dépassé. Sans mentionner les effets produits par les grands cyclones des tropiques, il s'est présenté sous la zone tempérée nombre de cas où la pression exercée par le vent sur un espace peu étendu était beaucoup supérieure aux prévisions des météorologistes. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, la tempête du 27 février 1860, venue de l'ouest et plongeant dans la plaine de Narbonne par l'espèce de détroit où passent le canal et le chemin de fer du Midi, eut assez de violence pour faire dérailler et renverser en partie deux trains qu'elle prit par le travers entre les stations de Salces et de Rivesaltes : la pression a dû être de 400 kilogrammes!

Le 14 février 1867, pendant la tempête, des wagons au repos sur la ligne de Napoléon-Vendée aux Sables d'Olonne se mirent en marche sous la seule impulsion du vent. Ils parcoururent ainsi une distance de 4 kilomètres environ. Les garde-barrières, qui les voyaient passer, se mettaient réglementairement au porte-guidon, devant leurs maisonnettes, s'imaginant éclairer la marche d'un train supplémentaire.

Les ingénieurs de la compagnie de l'Est ont trouvé, par une série d'expériences dynamométriques, qu'un vent assez fort produit une résistance de 12 kilogr. pour une vitesse de 46 kilomètres, ce

qui donne 72 kilogr. par voiture et 936 pour un convoi de 13 voitures. Cette résistance peut se traduire par un retard de une heure et plus dans la durée du trajet de Paris à Strasbourg.

On a calculé approximativement que la force mécanique du vent est proportionnelle à la surface de l'objet qui est exposé et en raison directe du carré de la vitesse, et que pour une vitesse de 1 mètre par seconde, par chaque mètre carré, l'effet produit équivaut à peu près à 0 kil. 125. C'est donc, avec cette vitesse de 1 mètre par seconde, un demi-kilogramme par 4 mètres de superficie. Dans les vents forts, dont la vitesse est de 20 mètres à la seconde, sur chaque mètre carré, on a un effet de 50 kilogr.; lorsque, dans les ouragans, la vitesse est de 40 mètres, la pression est quadruplée et devient 200 kilog.; on conçoit d'après cela comment des arbres et des maisons peuvent être renversés.

La force que les molécules d'air n'ont pas par leur masse, elles la prennent par leur vitesse, et elles deviennent ainsi capables de produire des effets qui paraissent incroyables, et qui sont cependant conformes aux lois de la mécanique.

Pour donner une juste idée de ces effets, nous anticiperons ici sur le sujet des cyclones, et nous citerons quelques-uns des trop fameux désastres causés par certains ouragans restés célèbres.

A la Guadeloupe, le 25 juillet 1825, des maisons solidement bâties ont été démolies, un édifice neuf, élevé aux frais de l'État, avec la plus grande solidité, a eu une aile entière complétement rasée.

Le vent avait imprimé aux tuiles une telle vitesse, que plusieurs pénétrèrent dans les magasins à travers des portes épaisses.

Une planche de sapin de 1 mètre de long, de 2 décimètres et demi de large, et de 23 millimètres d'épaisseur, se mouvait dans l'air avec une si grande rapidité qu'elle traversa d'outre en outre une tige de palmier de 45 centimètres de diamètre.

Une pièce de bois de 20 centimètres d'équarrissage et de 4 à 5 mètres de long, projetée par le vent, sur un chemin serré, battu et fréquenté, entra dans le sol de près de 1 mètre.

Une belle grille en fer, établie devant le palais du gouverneur, fut entièrement rompue.

Trois canons de 24 se mirent en marche jusqu'au bout de la batterie.

En 1823, un tourbillon, dont le diamètre n'était pas de 1 kilomètre, passa près de Calcutta, tua, en quatre heures, 215 personnes, en blessa 223, renversa 1239 huttes de pêcheurs, et entre autres, fit pénétrer de part en part un bambou au travers d'une

muraille de 1 mètre et demi d'épaisseur, c'est-à-dire que le souffle d'air en mouvement avait une force égale à celle d'un canon de 6.

A Saint-Thomas, en 1837, la forteresse qui défend l'entrée du port fut démolie comme si elle avait été bombardée. Des blocs de rochers ont été arrachés du fond de la mer par 10 et 12 mètres d'eau et lancées sur la plage. Ailleurs, de solides maisons, déracinées de leurs fondements, ont glissé sur le sol en fuyant devant la tempête. Sur les bords du Gange, sur les côtes des Antilles, à Charlestown, on a vu des navires échouer loin de la côte, en pleine campagne ou dans les bois. En 1681, un bâtiment d'Antigua fut même porté sur les falaises jusqu'à 3 mètres au-dessus des plus hautes marées et resta comme un pont entre deux pointes de rochers. En 1825, les navires qui se trouvaient dans la rade de Basse-Terre disparurent, et l'un des capitaines, heureusement échappé à la mort, raconta que son brick avait été aspiré par l'ouragan, soulevé hors de l'eau, et qu'il avait pour ainsi dire « fait naufrage dans les airs. » Des meubles fracassés et quantité de débris enlevés dans les maisons de la Guadeloupe furent transportés à Montserrat par-dessus un bras de mer de 80 kilomètres de large, etc. Dans la tempête qui sévit sur la Manche le 11 janvier 1866, on a vu, sur la digue de Cherbourg, des pierres de 2 à 300 kilogrammes, formant l'extérieur de l'enrochement, lancées par les lames par-dessus le parapet, à plus de 8 mètres de hauteur. Mise en fureur par les vents qui la bouleversaient, la mer lançait, dit le vice-amiral La Roncière le Noury, des lames qui, frappant le fort, s'élevaient à 60 mètres de hauteur.... Nous développerons ces effets formidables tout à l'heure au chapitre des *Cyclones*.

Pour expliquer ces phénomènes, il n'y a qu'une seule difficulté, celle de savoir comment l'air a pu recevoir dans l'atmosphère une si prodigieuse vitesse; car, cette vitesse étant donnée, les actions mécaniques les plus étonnantes en deviennent les conséquences nécessaires. C'est du gaz en mouvement qui chasse le boulet du canon, et qui lance dans les airs des quartiers de roches, lorsqu'une mine fait son explosion. On peut traverser une planche de chêne de 2 centimètres d'épaisseur avec un bout de bougie mis en place de balle dans le canon d'un fusil : la force du projectile n'est due ici qu'à sa vitesse; c'est une expérience que j'ai faite plusieurs fois; il faut tirer perpendiculairement à la planche, et presque à bout portant.

CHAPITRE IV.

SUR QUELQUES VENTS PARTICULIERS.

LA BISE. — LE BORA. — LE GALLEGO. — LE MISTRAL.
LE FOEHN. — L'HARMATTAN. — LE SIMOUN. — LE KHAMSIN. — LE TEBBAD.
LE SIROCCO. — LE SOLANO.

LE SPLEEN.

Après avoir étudié la théorie et la manière d'agir des vents généraux, réguliers et irréguliers, qui soufflent à la surface du globe, nous devons porter notre attention sur les vents particuliers qui caractérisent certaines contrées, comme sur les mouvements atmosphériques qui parfois traversent les mers et les continents avec la rapidité de l'oiseau de proie, et semblent faire exception au système de lois organisées qui régit la nature. L'analyse scientifique s'est attachée à ces phénomènes eux-mêmes, et montre qu'ils obéissent comme toute chose dans l'univers à des lois définies et déterminées.

Les cyclones, ouragans et tempêtes, feront l'objet du chapitre suivant. Comme transition, occupons-nous un instant de certains vents particuliers plus ou moins célèbres, et prenons une idée exacte de leur caractère respectif.

En France, le climat tempéré qui sourit sur nos têtes éloigne de nous les phénomènes atmosphériques intenses qui se manifestent sous des cieux moins hospitaliers. Les coups de vent et tempêtes de nos côtes proviennent des mouvements cycloniques dont nous parlerons plus loin. Les orages feront également l'objet d'une étude ultérieure. Comme *vents* proprement dits, qui se distinguent

un peu par leur caractère de l'ensemble des vents généraux, nous pouvons citer d'abord la *bise*, ou vent du nord, très-froid, et d'une intensité parfois très-violente. Dans nos départements de l'est il est très-redouté, car il arrive presque en ligne droite de la mer du Nord ; la Belgique et la Hollande, couvertes de neiges qu'il a traversées, n'ont servi qu'à le refroidir davantage. A Istria et en Dalmatie, la bise est connue sous le nom de *bora*, et sa force est telle qu'il renverse quelquefois des chevaux et des charrettes. En Espagne, ce même vent du nord, et nord-est pour ce pays, est désigné sous le nom de *gallego*.

Dans le sud de la France, le vent du sud-ouest *froid* et violent qui a passe sur les neiges des Alpes et des Pyrénées, et qui est célèbre sous le nom de *mistral*, mérite particulièrement notre attention.

On a longtemps ignoré sa cause. On l'attribuait à un refroidissement subit du vent passant sur les Pyrénées ou les Alpes. M. Marié-Davy, dans plusieurs notes publiées au *Bulletin de l'Observatoire*, en juin 1864, montre que la cause de ce vent n'est pas locale et que les mouvements qui lui donnent naissance se transportent vers l'est comme les bourrasques.

Kaemtz, dans une communication faite à l'Institut, en juillet 1865, montre par un tableau de pressions barométriques sur la France, l'Espagne et l'Italie, avant, pendant et après le mistral, que c'est une véritable tempête venant de loin, et qu'il n'est pas dû à un refroidissement subit du vent passant sur les montagnes.

Il est remarquable qu'à mesure que les études météorologiques font des progrès, on apprend à ne plus chercher les causes de la plupart des phénomènes dans les localités où ils sont observés, mais à les rattacher à des causes générales prépondérantes auxquelles sont subordonnées les circonstances locales.

Toutes les fois que le mistral souffle, il y a un excès de pression atmosphérique à l'ouest du golfe du Lion. Quelle que soit l'origine de cette pression, elle accompagne en toute saison le mistral.

Le mistral exige pour sa production, quelle que soit la saison, les mêmes circonstances réunies. Que ce soit pendant une période de beau ou de mauvais temps pour le sud-ouest de l'Europe, il faut toujours un excès de la pression à l'ouest des Cévennes.

La violence de ce vent est due à la forme de l'isthme pyrénéen. Dès que la direction générale du mouvement atmosphérique dépasse un peu l'ouest vers le nord, le plateau central et le massif des Alpes dévient le courant vers le golfe du Lion. Ce courant, rétréci entre les Alpes et les Pyrénées dans le sens de la largeur et par les

Cévennes dans le sens vertical, constitue un *rapide* sur les côtes du Languedoc : de là une des causes de l'excès de pression sur le versant nord-ouest des Cévennes et la diminution de pression sur la Méditerranée, là où le vent conserve une vitesse qui n'est plus en rapport avec la largeur du lit.

De là aussi la violence du vent du nord dans la vallée du Rhône entre les contre-forts des Alpes et ceux du plateau central.

Le mistral est le vent le plus sec de ces parages, parce qu'il s'est asséché en passant sur les Cévennes ; il est en effet pluvieux sur le versant nord-ouest de ces montagnes ; les vents des régions E. ou S. y amènent de la pluie, parce que ce sont des vents marins sur les côtes et sur le versant sud-est des Cévennes ; ils sont secs sur le versant opposé.

L'antipode du mistral est le *Fœhn*.

Ce vent chaud d'Afrique qui arrive sur les Alpes a reçu de la nature le soin de fondre les hautes neiges des montagnes. Il arrive, pendant la nuit, impétueux, sur les glaces, interpelle toutes ces eaux immobiles qui ont peine à se délier de leur engourdissement. Ce redoutable bienfaiteur paraît vouloir détruire la nature qu'il vient sauver. Il brise, il confond, ravage. Il lance des blocs énormes des hauteurs, roule des arbres gigantesques au lit des torrents. Il arrache, enlève, emporte au loin les toits des chalets. La panique est dans l'étable; la vache effrayée mugit. Dieu ! que va-t-il advenir ?... Ce qui vient, c'est le printemps.

Le Fœhn se moque du soleil. Celui-ci demanderait quinze jours pour fondre ce que le vent d'Afrique a fondu en vingt-quatre heures. La neige ne tient pas devant lui. En deux heures au Grindelwald il en fond 2 pieds de hauteur. « Elle finit, la vie souterraine des mystérieuses plantes alpines, leur neige et leur nuit de huit mois. A l'éveil du magicien, elles vivent, voient avec bonheur la lumière de leur court été, et leur petit cœur de fleurs s'éjouit d'aimer un moment.

« Quelle heureuse métamorphose ! que de bienfaits ! la vie, la fécondité, qui dormait au haut des Alpes, la voilà donc délivrée. Plus utiles qu'aucune rivière, ses rosées et ses brouillards s'en vont arroser l'Europe de ce délicat arrosage qui fait la fine prairie, le velours vert du gazon.

« Heureux qui, à la première heure de la grande métamorphose, aurait le sens et l'oreille pour entendre le début du concert de toutes ces eaux, quand des milliers, des millions de sources se mettent à parler ! » (Michelet.)

La haute température de l'intérieur de l'Afrique est l'origine des vents extraordinaires qui se font sentir sur les côtes de Guinée, sur celles de la Barbarie, en Égypte, dans l'Arabie, dans la Syrie, dans les steppes de la Russie méridionale et même jusqu'en Italie. Ces vents nommés harmattan, simoun, khamsin, sont accompagnés de circonstances étranges sur lesquelles il est utile de donner quelques détails; ils sont particulièrement chauds et secs et entraînent avec eux des tourbillons de poussière.

On appelle *harmattan*, un vent qui souffle trois ou quatre fois chaque saison, de l'intérieur de l'Afrique vers l'océan Atlantique; dans la partie de la côte comprise entre le cap Vert (latit. 15° N.) et le cap Lopez (latit. 105°). L'harmattan se fait principalement sentir dans les mois de décembre, de janvier et de février. Sa direction est comprise entre l'est-sud-est et le nord-nord-est. Sa durée est ordinairement d'un ou deux jours, quelquefois de cinq ou six. Ce vent n'a qu'une force modérée.

Un brouillard d'une espèce particulière, et assez épais pour ne donner passage à midi qu'à quelques rayons rouges du soleil, s'élève toujours quand l'harmattan souffle. Les particules dont ce brouillard est formé se déposent sur le gazon, sur les feuilles des arbres et sur la peau des nègres, de telle sorte que tout alors paraît blanc. On ignore quelle est la nature de ces particules; on sait seulement que le vent ne les entraîne sur l'Océan qu'à une petite distance des côtes; à une lieue en mer, par exemple, le brouillard est déjà très-affaibli; à trois lieues, il n'en reste plus de traces, quoique l'harmattan s'y fasse encore sentir dans toute sa force.

L'extrême sécheresse de l'harmattan est un de ses caractères les plus tranchés. Si ce vent a quelque durée, les branches des orangers, des citronniers, etc., se dessèchent et meurent; les reliures des livres (et l'on ne doit pas en excepter ceux-là même qui sont placés dans des malles bien fermées et recouverts de linge) se courbent comme si elles avaient été exposées à un grand feu. Les panneaux des portes et des fenêtres, les meubles dans les appartements craquent et souvent se brisent. Les effets de ce vent sur le corps humain ne sont pas moins évidents. Les yeux, les lèvres deviennent secs et douloureux. Si l'harmattan dure quatre ou cinq jours consécutifs, les mains et la face se pèlent; pour prévenir cet accident, on se frotte tout le corps avec de la graisse.

Après tout ce que nous venons de rapporter des fâcheux effets que produit l'harmattan sur les végétaux, on pourrait croire que ce vent doit être très-insalubre : c'est cependant tout l'opposé

qu'on a observé. Les fièvres intermittentes, par exemple, sont radicalement guéries au premier souffle de l'harmattan. Ceux que l'usage excessif qu'on fait de la saignée dans ces climats avait exténués, recouvrent bientôt leurs forces; les fièvres rémittentes et épidémiques disparaissent aussi, comme par enchantement. Telle est enfin l'influence salutaire de ce vent, que pendant sa durée, l'infection ne peut pas être communiquée, même par l'art, car il paraît que le vaccin ne prend pas tant qu'il souffle.

Ses propriétés vénéneuses sont purement imaginaires. Il ne serait même pas impossible qu'elles eussent été inventées par les Arabes pour effrayer les voyageurs qui tentent de s'aventurer dans ce qu'ils considèrent comme leur domaine.

« De tout temps, dit Kaemtz, l'Arabe du désert, nomade et pauvre, a détesté l'habitant des villes, qui mène une vie commode et tranquille. Aussi quand le marchand est forcé de traverser le désert, le Bédouin lui vend-il sa protection au poids de l'or.... Pour les habitants des villes, le désert était le théâtre des scènes d'horreur les plus exagérées. Tous les récits merveilleux d'aventures extraordinaires trouvaient en eux des auditeurs crédules ou prévenus, de même que de nos jours les Turcs se font de l'Europe les idées les plus fausses et les plus ridicules. Les habitants du désert n'avaient garde de détruire ces erreurs, qui faisaient leur force; ils les accréditaient, au contraire, chaque fois qu'ils visitaient les villes; les négociants qui avaient traversé le désert connaissaient seuls la vérité; mais ils étaient en petit nombre, faisaient de grands bénéfices dans ces voyages, et cherchaient à effrayer ceux qui auraient été tentés de les imiter. C'est ainsi que ces croyances se répandirent. »

Les écrivains arabes sont remplis de mensonges sur tout ce qui regarde le désert. Les voyageurs européens ont encore enchéri sur eux. Le musulman croit faire œuvre méritoire en trompant l'infidèle et en lui fermant l'entrée du désert. Tous ceux qui y sont allés ont fait bon marché de ces craintes ridicules, dont les Arabes eux-mêmes leur ont avoué l'exagération. L. Burckhardt, de Bâle, est le premier qui nous ait fourni des renseignements positifs sur les phénomènes du désert, et en particulier sur les vents qui y règnent. Il a ainsi réduit à leur juste valeur les récits fantastiques de ses prédécesseurs, Beauchamp, Bruce et Niebuhr.

Burckhardt raconte, en effet, que ce vent du désert le surprit entre Siout et Esné. « Lorsque le vent s'éleva, dit-il, j'étais seul, monté sur mon dromadaire, loin de tout arbre et de toute habitation. Je m'efforçai de garantir mon visage en l'enve-



Fig. 166. — Le Simoun.

loppant d'un mouchoir. Pendant ce temps le dromadaire, auquel le vent chassait le sable dans les yeux, devint inquiet, se mit à galoper, et me fit perdre les étriers. Je restai couché par terre sans bouger de place, car je n'y voyais à la distance de dix mètres, et m'enveloppai de mes vêtements jusqu'à ce que le vent se fût apaisé. Alors j'allai à la recherche de mon dromadaire, que je trouvai à une assez grande distance, couché près d'un buisson qui protégeait sa tête contre le sable enlevé par le vent. » Malcolm et Morier, qui ont traversé les déserts de la Perse, Ker-Porter, qui a visité celui qui est à l'est de l'Euphrate, sont d'accord avec Burckhardt pour déclarer que lorsqu'ils ont été exposés au simoun, ils n'ont rien éprouvé qu'une impression très-désagréable, très-pénible même, mais dont leur santé n'a nullement été altérée.

Ce n'est pas seulement dans les déserts de sable de l'Afrique et de l'Asie que les vents chauds sont à redouter, mais dans presque toutes les contrées continentales voisines des tropiques. Dans l'Inde ces vents sont connus sous le nom de souffle des diables. Ils sévissent fréquemment durant la saison sèche, et répandent dans les campagnes, et jusque dans les villes, l'effroi et la dévastation. Sans être empoisonnés, il est admissible que des vents animés d'une vitesse formidable, emportant avec eux des flots de sable, et dont la température s'élève à 40° et plus, puissent exercer sur leur parcours une action malfaisante, et devenir surtout funestes aux Européens, qui ne savent guère s'en garantir.

Vers l'époque de l'équinoxe, les tempêtes deviennent terribles dans le désert. Tout le monde a entendu parler du vent brûlant du désert, du *simoun*, mot qui signifie poison chez les Arabes. Ce vent redoutable souffle aussi en Égypte, où on l'appelle Khamsim (cinquante) à cause des cinquante jours pendant lesquels on l'observe : vingt-cinq jours avant l'équinoxe du printemps et vingt-cinq jours après.

Le simoun s'annonce dans le désert par un point noir qui surgit à l'horizon. Ce point noir grandit rapidement. Un voile blafard envahit le ciel, des flots de sable obscurcissent le soleil et dessèchent toute verdure. Aussitôt qu'il souffle, les oiseaux effrayés s'envolent, le dromadaire cherche un buisson où il puisse préserver ses yeux, sa bouche, ses narines, des nuages de sable; l'Arabe se couvre la face, s'enduit le corps de graisse, d'huile ou de boue humide, se roule à terre, ou se blottit contre un arbre, jusqu'à ce que l'affreuse bourrasque soit apaisée. Le simoun est le plus redoutable ennemi des caravanes qui traversent les déserts sablonneux de l'Arabie et de l'Afrique : on lui attribue la destruction entière des 50000 hommes que le fou Cambyse envoya pour réduire en esclavage les Ammoniens, et mettre ensuite le feu au temple de Jupiter.

En 1805, le simoun tua et ensevelit dans les sables toute une caravane, composée de deux mille personnes et dix-huit cents chameaux. Plus d'une fois nos généraux ont eu des craintes sérieuses sur le sort des colonnes de nos soldats, forcées de s'en-

gager dans le désert, et que le simoun vint surprendre dans leur marche.

La poussière impalpable que l'air charrie en épais nuages pénètre dans les narines, les yeux, la bouche et les poumons et détermine l'asphyxie. Quand les choses ne vont pas jusqu'à ce terme fatal, l'évaporation rapide qui se fait à la surface du corps, sèche la peau, enflamme le gosier, accélère la respiration, et cause aux voyageurs une soif ardente. Le souffle terrible du simoun aspire, en passant, la sève des arbres, et fait disparaître par une évaporation rapide, l'eau contenue dans les outres des chameliers. La caravane est alors en proie à toutes les horreurs d'une inextinguible soif, qui allume le sang. C'est ainsi que plus d'une caravane a péri dans les mêmes solitudes. Aussi voit-on les routes habituellement suivies par les caravanes, parsemées de squelettes d'hommes et d'animaux blanchis par le temps et le soleil : ce sont les bornes miliaires de ces sinistres sentiers.

Dans son voyage dans l'Asie centrale, Arminius Vambéry, savant hongrois déguisé en derviche, observa l'ouragan de sable et les terribles influences de la chaleur sur l'organisme humain en traversant le désert entre Khiva et Bokhara (longitude 60°, latitude 40°). Ayant quitté le pays des Turkomans et l'Oxus, sa caravane pénétra dans les sables....

Notre station matinale, dit-il, portait le nom charmant d'Adamkyrylgan (traduisez : l'endroit où périssent les hommes), et il suffisait de jeter un regard vers l'horizon pour se convaincre que cette appellation tragique ne lui avait pas été gratuitement donnée. Qu'on se représente un océan de sables, s'étendant à perte de vue, façonné d'un côté par le souffle furieux des ouragans en hautes collines semblables à des vagues, de l'autre, en revanche, représentant assez bien le niveau d'un lac paisible à peine ridé par la brise du couchant. Dans l'air pas un oiseau, sur la terre pas un animal vivant, pas même un vers, pas même un grillon. Nuls vestiges autres que ceux dont la mort a semé ces vastes espaces, des monceaux d'os blanchis que chaque passant recueille et réunit pour servir de jalons à la marche des voyageurs qui lui succéderont. Examen fait de nos outres, nous calculions que nous ne manquerions guère d'eau pendant plus d'un jour; mais elle diminua avec une rapidité surprenante. Cette découverte doubla la vigilance avec laquelle j'avais l'œil sur mes approvisionnements. Les autres voyageurs, se tenant pour avertis, agirent de même, et nonobstant nos inquiétudes, il nous arriva parfois de sourire en contemplant ceux de nous qui, vaincus par le sommeil, s'endormaient les bras tendrement pressés autour de leur outre. En dépit d'une chaleur à tout fondre, nous étions contraints d'accomplir, le jour comme la nuit, des marches de cinq à six heures. En effet, plutôt nous sortirions des sables, moins nous aurions à craindre les désastreuses influences du *tebbad* (vent de fièvre), qui peut vous ensevelir sous la poussière s'il vient vous surprendre au milieu de ces dunes.

Comme nous approchions des montagnes, le Kervanbashi et ses gens nous si-

gnalant un nuage de poussière qui semblait venir de notre côté, nous avertirent qu'il fallait, sans retard, mettre pied à terre. Nos pauvres chameaux, plus expérimentés que nous, avaient déjà reconnu l'approche du tebbad ; après une clameur désespérée, ils tombèrent à genoux, allongeant leurs cous sur le sol et s'efforçant de cacher leurs têtes dans le sable. Contre eux, comme à l'abri d'un retranchement, nous venions nous agenouiller, quand le vent passa sur nous avec un frémissement sourd et nous enveloppa d'une croûte de sable épaisse d'environ deux doigts. Les premiers grains dont je sentis le contact produisirent sur moi l'effet d'une véritable pluie de feu. Si nous avions subi le choc du tebbad à quelque six mille de là dans la profondeur du désert, nous y restions tous infailliblement. Je



Fig. 167. — Pendant le passage du Tebbad.

n'eus pas le loisir d'observer ces dispositions à la fièvre et aux vomissements que l'on dit causés par le vent lui-même ; mais après son passage, l'atmosphère devint plus épaisse et plus écrasante.

Abstraction faite du tebbad, l'élévation de la température diurne nous privait de nos forces, et deux de nos plus pauvres associés, se traînant comme ils pouvaient à côté de leurs bêtes chétives, tombèrent si malades, une fois que leur eau fut épuisée, qu'il fallut les attacher à plat ventre sur les chameaux, vu qu'ils étaient parfaitement incapables d'y conserver leur assiette.

Tant qu'ils purent articuler une parole, nous n'entendîmes sortir de leurs lèvres desséchées que cette exclamation monotone : « De l'eau, de l'eau !... par pitié, par pitié, quelques gouttes d'eau !... » Hélas ! leurs meilleurs amis refusaient impitoyablement de leur sacrifier la moindre gorgée de ce liquide qui, pour nous, repré-

sentait la vie; et lorsque, le quatrième jour, nous arrivâmes à Medernin-Bulag, un de ces malheureux fut soustrait par la mort aux tortures de la soif. J'assistai à l'agonie de cet infortuné. Sa langue était absolument noire; la voûte de son palais avait pris une teinte d'un bleu grisâtre; ses lèvres étaient parcheminées, sa bouche béante, ses dents à nu. Il est fort douteux que, dans ces terribles extrémités, on eût pu le sauver en le faisant boire; d'ailleurs pas un de nous ne s'en serait avisé.

C'est une chose horrible à voir qu'un père cachant à son fils, un frère cachant à son frère l'eau dont il peut être nanti; mais je le répète, lorsque chaque goutte représente une heure de vie, et quand on est aux prises avec les angoisses de la soif, les tendances généreuses, l'esprit de sacrifice qui se manifestent fréquemment en d'autres occasions aussi critiques, perdent toute action sur le cœur de l'homme.

Mais c'est en vain que je cherche à donner la moindre idée du martyre causé par la soif; la mort elle-même, je le crois fermement, n'est pas accompagnée de souffrances plus cruelles. En face d'autres périls, je n'ai jamais trouvé la lutte au-dessus de mon courage; ici, je me sentais brisé, abattu, anéanti, et je me croyais parvenu au terme de mon existence.

Thomas-William Atkinson fut témoin, en 1850, des ouragans rapides qui s'abattent sur les steppes mongoles.

Un silence solennel, dit-il, règne sur ces vastes plaines arides également désertées par l'homme, par les quadrupèdes et les oiseaux. On parle de la solitude des forêts: j'ai souvent chevauché sous leurs voûtes sombres pendant des journées entières; mais on y entendait les soupirs de la brise, le frôlement des feuilles, le craquement des branches; quelquefois même, la chute de l'un des géants de la forêt, croulant de vétusté, éveillait au loin les échos, chassait de leurs repaires les hôtes effrayés des bois et arrachait des cris d'alarme aux oiseaux épouvantés. Ce n'était pas la solitude : les feuilles et les arbres ont un langage que l'homme reconnaît de loin ; mais dans ces déserts desséchés nul son ne s'élève pour rompre le silence de mort qui plane perpétuellement sur le sol calciné.

Le sable était là, soulevé en terrasses circulaires; quelques-unes avaient quinze à vingt pieds de haut; il y en avait de toutes grandeurs à perte de vue dans le désert. Vues du sommet de l'une des plus considérables, elles présentaient l'apparence singulière d'une immense nécropole, semée d'innombrables tumuli.

Pendant que j'esquissais ce tableau, je fus témoin de la formation d'un ouragan au-dessus des eaux. Il venait du nord droit à nous. Les Cosaques et Tchuck-a-boi allèrent mettre les chevaux à l'abri derrière les roseaux, laissant deux de leurs compagnons auprès de moi. La tempête arrivait avec une rapidité furieuse, lançant d'énormes vagues dans l'espace et abattant la végétation sur son passage. On voyait un long sillon blanc s'avancer sur le lac. Quand il fut à une demi-verste, nous l'entendîmes rugir. Mes gens me pressaient de m'éloigner, je pris mes esquisses et autres objets, puis je courus rejoindre le gros de la troupe sous les roseaux. J'arrivais à peine à l'entrée de ce rempart mouvant, que l'ouragan éclata, courbant jusqu'à terre les buissons et les roseaux. Lorsqu'il entra dans les sables de la steppe, il se mit à tourbillonner circulairement, enlevant des monticules entiers dans l'espace, en élevant d'autres là où il n'y en avait pas; il était aisé de comprendre maintenant à quoi étaient dues nos prétendues tombelles. Cette tempête fut de courte durée; en un quart d'heure elle était finie et tout était redevenu calme comme auparavant.

Rien n'est plus dangereux que d'être surpris en plaine par cette espèce de typhon. J'en ai vu plus tard descendre des montagnes ou s'élever du fond d'une



Fig. 168. — Un ouragan dans les steppes mongoles

gorge profonde, sous la forme d'une masse noire, compacte, d'un diamètre de mille mètres et plus, qui s'élance sur la steppe avec la rapidité d'un cheval de course. Tous les animaux, domestiques ou sauvages, fuient épouvantés devant elle; car une fois enveloppés dans sa sphère d'action, ils sont infailliblement perdus. Les admirables chevaux libres s'enfuient au galop devant la tourmente qui les chasse avec furie....

En Europe, on connaît le sirocco d'Italie et le solano d'Espagne qui jettent les habitants dans un grand état de langueur par la chaleur énervante qu'ils apportent avec eux.

Le 8 juillet 1770, Brydone étant à Palerme, le sirocco vint à souffler : « A huit heures du matin, dit-il, j'ouvris la porte sans soupçonner ce changement de température, et je n'ai jamais été plus étonné de ma vie. Je ressentis tout à coup sur mon visage une impression pareille à celle qu'aurait faite une vapeur brûlante sortie de la bouche d'un four; je retirai ma tête et fermai la porte en criant à Fullarton que toute l'atmosphère était en feu. » En ce moment, le thermomètre, porté à l'air, s'éleva à 44 degrés.

Voici en quels termes un chirurgien de l'armée d'Afrique rend compte des effets du sirocco, pendant une marche entre Oran et Tlemcen, dans le désert: « C'était à la fin de juillet 1846; un grand nombre de soldats avaient succombé, foudroyés en quelque sorte par la chaleur. Le sirocco assaillit la petite colonne. Sous l'influence de cet air sec, lourd et énervant, la respiration devint saccadée et sonore; les lèvres, les narines, crevassées par la poussière ardente que fouettait le vent du désert, étaient douloureuses et arides; une énergique constriction serrait la gorge, une sorte de cauchemar pesait sur l'épigastre. On ressentait à la figure des bouffées de chaleur, suivies quelquefois de vagues frissons et d'une défaillance voisine de la syncope. La sueur coulait à flots, et l'eau qu'on buvait avec abondance, sans apaiser une soif insatiable, augmentait encore le malaise, la dyspnée et l'anxiété épigastrique. Le mouvement répugnait, et une agitation invincible portait à se retourner en tous sens; on étouffait sous la tente; en plein air on se sentait suffoquer par la rafale brûlante.... C'était fait de la colonne si l'eau eût manqué. »

Pour l'Angleterre, le vent d'est est un fléau redoutable qui souffle le malaise et le spleen, dont nous rions en France, mais qui est aussi sérieux en Angleterre que le khamsin en Arabie et le sirocco en Italie.

CHAPITRE V.

LES PUISSANCES DE L'AIR.

L'OURAGAN. — LE CYCLONE. — LA TEMPÊTE.

Les deux grands courants généraux que nous avons étudiés plus haut, l'un dirigé de l'équateur aux pôles, le second des pôles à l'équateur, ne circulent pas sans se heurter, surtout dans la région d'amorce où ils se soudent, dans la zone équatoriale. Des causes diverses viennent contre balancer l'action générale périodique des rayons solaires, et mettre des obstacles à la marche ordinaire des déplacements aériens. La diversité de température des continents et des mers fait varier d'une part la direction normale et l'intensité des courants. L'état du ciel sous les tropiques, s'il est longtemps découvert ou longtemps couvert, condense la chaleur comme dans un foyer d'absorption ou bien la dissémine sur de vastes contrées. Le relief du sol, les hautes chaînes de montagnes et leur température, les plateaux moins élevés et les vallées moyennes elles-mêmes, déterminent ici l'encaissement et le repos des masses d'air, plus loin leur écoulement sur diverses inclinaisons, et ailleurs ce même relief force les courants à se rejeter à droite et à gauche, à subir des remous comme les eaux d'un fleuve, ou à s'élancer avec furie par-dessus les obstacles qui les ont courroucés. Les souffles d'air qui se rencontrent peuvent se réunir ou se combattre, accroître leur puissance mutuelle ou la détruire. Ainsi naissent les vents forts, les ouragans, les tempêtes.

Ces combats atmosphériques, qui atteignent parfois des propor-

tions gigantesques, bouleversent la nature de fond en comble : l'étude patiente et laborieuse des météorologistes et des marins est déjà parvenue à l'analyser, à reconnaître les principales lois qui semblent les régir. Les Américains Redfield et Reid, le professeur Dove, de Berlin, l'amiral anglais Fitz-Roy ont, par d'immenses travaux, formé une théorie des tempêtes qui fait connaître et explique en même temps les mouvements les plus violents dont l'Atmosphère soit le théâtre. Ce sont leurs travaux qui nous serviront de guide à nous-même pour apprécier à leur valeur ces puissants effets.

L'un des résultats capitaux des observations est d'avoir constaté que les ouragans ne marchent pas en ligne droite, mais suivant une courbe parabolique, et tournent en même temps horizontalement sur eux-mêmes par un rapide mouvement de rotation.

Ce mouvement caractéristique de rotation horizontale a fait donner à ces gigantesques tourbillons le nom de *cyclones*, du mot grec κυκλος, qui veut dire cercle. Ce sont là les véritables ouragans généraux, qui ne sont plus de petites tempêtes locales résultant de la déviation du vent par la configuration du sol ou de la rencontre de divers courants ordinaires, mais s'étendent sur plusieurs centaines de lieues carrées et en parcourent plusieurs milliers.

Les *cyclones* sont de vastes tourbillons, de plus ou moins grand diamètre, dans lesquels la force du vent augmente de tous les points de la circonférence jusqu'au centre, où règne un calme d'une étendue variable. En ce centre, cependant, la mer reste horriblement agitée. Dans cet espace de calme il n'existe pas de nuage ; le soleil resplendit, les astres reparaissent, et l'on croit au retour du beau temps, à la sécurité entière, alors que l'on est de tous côtés entouré par une vaste ceinture d'orages et de rafales terribles, que l'on ne saurait éviter de subir.

Tout autour de ce calme central, le mouvement rotatoire a la même énergie, et cette énergie est poussée au plus haut point; dans aucune partie de l'ouragan elle n'est aussi forte. Par conséquent lorsqu'on arrive à cette région du centre, on passe de la tempête la plus violente au calme le plus complet, et réciproquement, lorsqu'on la quitte, on passe du calme le plus complet à la tempête la plus violente; mais alors les rafales soufflent dans une direction tout à fait opposée à celles qui ont précédé le calme : ce qui doit être, puisque leur mouvement est circulaire.

La première zone centrale, qui constitue véritablement l'oura-

gan, et pendant le passage de laquelle ont lieu tous les désastres, mesure en général 100 à 120 lieues de diamètre, quelles que soient les limites extrêmes auxquelles atteigne le phénomène, car sa puissance n'est pas proportionnelle à son étendue.

La vitesse de rotation qui anime les ouragans est très-variable : c'est elle qui constitue principalement la violence du tourbillon et qui en fait, pour les lieux qu'il rencontre et les navires sur lesquels il frappe, un ouragan, un coup de vent ou une simple bourrasque. Dans les violentes tempêtes, on estime que les molécules d'air tournent autour du centre avec une vitesse de rotation de 60 lieues à l'heure, vitesse qui explique les ravages et les désastres produits par le passage de ce terrible météore.

Le cyclone prend généralement naissance dans les latitudes de 5 à 10 degrés. A peine est-il né, qu'il se met en mouvement, pour notre hémisphère, dans la direction du nord-ouest, continuant la même marche jusqu'à ce qu'il ait atteint une certaine latitude, sur laquelle il tourne vers le nord-est et forme ainsi une parabole dont les deux branches s'écartent plus ou moins l'une de l'autre.

La différence de densité des diverses couches atmosphériques rencontrées dans le parcours, le mouvement rotatoire lui-même, doivent donner au cyclone un mouvement oscillatoire, de sorte qu'au lieu de décrire une parabole régulière, la course du cyclone est plutôt une spirale s'enroulant autour de la parabole.

Les navires qui se trouvent près du centre du météore sont soumis à son action oscillante : de là ces rafales terribles auxquelles succède un calme plus ou moins complet; de là ces situations dramatiques dans lesquelles le navire en détresse voit le vent faire plusieurs fois et très-rapidement le tour entier du compas.

Les sautes de vents subites et effroyables, que l'on considérait autrefois comme l'essence des ouragans, typhons, tornades, etc., ne peuvent donc se présenter et ne s'offrent en effet que pour ceux qui se trouvent directement, ou à peu près, sur le parcours du centre d'un cyclone.

Le cyclone contient en lui-même le germe de sa destruction prochaine : à mesure qu'il avance, il court vers des régions plus froides que celles de son point de départ; les vapeurs qu'il contient se condensent en pluies torrentielles ; l'électricité se dégage à grands courants; l'équilibre qui existait est rompu, et la force centrifuge, n'étant plus contre-balancée, permet au météore de s'étendre en d'immenses proportions.

Il perd alors en violence ce qu'il gagne en étendue : au point de

départ quelques lieues le mesurent; mais il embrasse des centaines de milles au moment où l'équilibre des forces étant rompu, le météore s'affaisse sur lui-même, effet qui se produit généralement par une latitude de 40 à 45 degrés.

Plus les dégagements électriques seront rapides, plus vite le météore disparaîtra; aussi arrive-t-il quelquefois qu'un cyclone termine sa course sans atteindre ces latitudes élevées et sans accomplir la seconde branche de sa parabole, qui alors reste incomplète.

Entre 5 et 10 degrés de latitude et 45 et 60 de longitude, alors qu'un cyclone est très-près du point d'origine, on a reconnu que la vitesse de translation est assez faible et varie de 2 à 9 kilomètres à l'heure, augmentant à mesure que la latitude augmente et que la longitude diminue, c'est-à-dire à mesure que l'ouragan s'avance vers l'ouest.

De 35 à 45 degrés de latitude et de 50 à 30 de longitude, la vitesse de translation varie entre 10 et 20 kilomètres.

Par les latitudes plus élevées, la vitesse de translation augmente encore, et a été constatée de 20 jusqu'à 33 kilomètres à l'heure.

La vitesse de *translation* la plus considérable que l'on ait observée est celle du cyclone du mois d'août 1853, qui arriva des Antilles au banc de Terre-Neuve avec une vitesse de 50 kilomètres à l'heure, vitesse qui augmentait encore graduellement de rapidité et atteignit les chiffres de 60, 70, 80 et jusqu'à 90 kilomètres à l'heure, sans préjudice de la vitesse de *rotation*, qui s'élève jusqu'à 60 lieues à l'heure. Ainsi le vent peut atteindre, à la surface des mers, une vitesse de 75 lieues à l'heure, et peut-être davantage encore!

L'origine des cyclones est due, selon toute probabilité et d'après toutes les comparaisons faites, à la rencontre de deux courants d'air circulant en sens inverse. Le point de la ligne sur laquelle ces deux courants vont se rencontrer forme un point neutre où l'air reçoit un mouvement de rotation des deux courants qui se heurtent sur deux directions opposées : c'est comme un remous dans un fleuve, et chacun de nous peut s'en rendre compte et se le figurer exactement après un instant de réflexion.

Ils naissent tous, ces tourbillons immenses, de chaque côté de l'équateur, aux lieux et aux époques du renversement des vents réguliers. Mon savant ami, l'astronome Poey, directeur de l'Observatoire de la Havane, a constaté, par le laborieux relevé qu'il a fait des ouragans qui ont sévi dans les Indes occidentales depuis l'an 1493 (découverte de l'Amérique) jusqu'à nos jours, que sur

365 grands cyclones, 245, plus des deux tiers, ont eu lieu d'août en octobre, c'est-à-dire pendant les mois où les côtes fortement échauffées de l'Amérique du Sud commencent à rappeler vers elles l'air plus froid et plus dense du continent septentrional. Dans la mer des Indes, c'est lors du changement des moussons et après l'été que les cyclones sont le plus nombreux. Dans le relevé des ouragans de l'hémisphère méridional, dressé par Piddington et complété par Bridet, il n'est pas fait mention d'un seul cyclone pour les mois de juillet et d'août; plus des trois cinquièmes de ces météores ont eu lieu pendant les trois premiers mois de l'année. C'est à cette époque du changement des saisons que les puissantes masses aériennes, chargées d'électricité, se mettent en lutte pour la suprématie et font naître par leur rencontre ces grands remous qui se développent en spirales à travers les mers et les continents. Toutefois, le tourbillon n'occupe jamais en hauteur qu'une faible partie de l'océan des airs. D'après Bridet, la hauteur moyenne des ouragans de la mer des Indes est d'environ 3000 mètres; suivant Redfield, elle n'est que de 1800. D'ordinaire, la couche tournoyante des airs est beaucoup moins épaisse; parfois même elle est d'une telle minceur, que lesmatelots d'un navire tordu par un cyclone voient au-dessus de leurs têtes l'azur du ciel ou les étoiles. Au-dessus du météore, les vents suivent leur marche régulière.

L'analyse des cyclones est due surtout à Redfield. La position d'un observateur en Amérique est particulièrement favorable à la solution de cette partie du problème, puisque les ouragans, qui côtoient les rivages des États-Unis, passent dans la partie tropicale de leur route sur les îles des Indes occidentales, où leur nature extraordinaire leur a fait donner le nom « d'ouragans des Indes occidentales. » Quant aux cyclones que l'on ressent dans l'Europe centrale, il est rarement possible de connaître la partie tropicale de leur route, et ceci nous prouve suffisamment que plus l'espace embrassé par nos observations sera étendu, plus nous pourrons éviter de porter un faux jugement dans l'examen de ces phénomènes naturels.

Le laborieux météorologiste Dove établit dans son ouvrage sur la loi des tempêtes (édition de Paris, page 173), qu'il se produit un mouvement cyclonique toutes les fois qu'un obstacle quelconque s'oppose au changement régulier de la direction du vent, qui est dû à la rotation de la Terre, et conséquemment contrarie la rotation régulière de la girouette à une station quelconque.

« Les ouragans des Indes occidentales, dit-il, naissent à la limite

intérieure de la zone des vents alizés, soit dans la région des calmes, où l'air monte et se répand dans les couches supérieures de l'Atmosphère et dans une direction contraire à celle du vent alizé; il est probable, d'après cela, que la cause première des cyclones est l'intrusion d'une partie de ce courant supérieur dans celui qui est en dessous.

« Imaginons aussi que l'air qui monte sur l'Asie et l'Afrique s'écoule latéralement dans les couches supérieures de l'Atmosphère, fait qui est bien évident par les sables qui tombent dans l'océan Atlantique nord, et qui s'élèvent à une hauteur très-grande, car sur le pic de Ténériffe le soleil en est parfois obscurci. Un courant pareil doit avoir une tendance à s'opposer au libre passage du contre-courant alizé supérieur, et doit le forcer à revenir dans le courant inférieur ou vent alizé direct. Le point où cette intrusion a lieu doit avancer avec la même vitesse que le courant supérieur oblique, qui le produit. L'interposition d'un courant marchant de l'E. à l'O. avec un autre, qui marche du S. O. au N. E., doit nécessairement donner naissance à un mouvement de rotation dans une direction contraire à celle de la marche des aiguilles d'une montre. D'après cela le cyclone, qui avance du S. O. vers le N. E. dans l'alizé inférieur, représente le point de contact et marchant des deux autres courants, qui dans les couches supérieures avancent dans des directions perpendiculaires l'une à l'autre. C'est là l'origine du mouvement de rotation, et la marche ultérieure du cyclone se fera nécessairement d'après les mêmes principes. Le cyclone étant considéré ainsi comme le résultat de la rencontre des courants à différents points, et successivement, peut alors conserver son diamètre invariable pendant un temps considérable, et il peut même diminuer de dimensions, quoique le cas où il augmentera sera le plus ordinaire.

« Il est, en outre, parfaitement clair, que si l'explication que nous venons de donner de l'origine du mouvement cyclonique est exacte, un cyclone qui tournera dans la même direction peut être engendré par l'interposition de quelque obstacle mécanique dans la route d'un courant, qui marche vers les hautes latitudes nord, obstacle qui force ce courant à prendre une direction plus sud (celle d'un vent du S.) à son côté est qu'à son côté ouest, où il reste toujours à peu près ouest. Tel est le cas qui s'est présenté, entre autres, dans l'ouragan de la baie du Bengale les 3, 4 et 5 juin 1839. »

Le nom de cyclone est donc en quelque sorte la désignation

géométrique du mot plus ancien *ouragan* (*hurrican* dans les vieilles géographies), comme des *tornades* qui caractérisent les côtes d'Afrique, comme des *typhons* (ti-foong) des mers de la Chine. Les grandes tempêtes observées dans ces parages sont de même ordre que les cyclones de l'Atlantique. Dampier, le prince des navigateurs, décrit l'approche du typhon avec cette exactitude qui rend tous ses travaux si remarquables. On lit dans ses *Voyages* (II, 26):

« Les typhons sont une espèce particulière de tempêtes violentes soufflant sur la côte du Tonquin et sur les côtes voisines dans les mois de juillet, août et septembre; elles éclatent communément aux environs de la pleine lune, et elles sont ordinairement précédées par un très-beau temps, de faibles brises et un ciel clair. Ces faibles brises sont l'alizé ordinaire, qui souffle du S. O. dans cette saison, et qui tourne au N. et au N. E. environ. Avant le commencement de la tempête, un nuage épais se forme au N. E.; il est très-noir auprès de l'horizon, d'une couleur cuivrée vers son bord supérieur, et de plus en plus clair à mesure qu'il approche du bord extérieur qui est d'un blanc très-vif. L'aspect de ce nuage est très-étrange, très-effrayant, et il se forme quelquefois douze heures avant que la tempête n'éclate. Quand il commence à marcher rapidement, le vent s'établit presque immédiatement, sa force augmente promptement, et il souffle avec une grande violence au N. E. pendant douze heures, plus ou moins. Il est aussi communément accompagné de coups de tonnerre effrayants, de larges et fréquents éclairs, et d'une pluie très-épaisse. Quand le vent commence à mollir, il tombe tout à coup, et il survient un calme plat qui dure près d'une heure, après quoi le vent s'élève du S. O. environ, où il souffle avec la même fureur et aussi longtemps qu'au N. E.; et il pleut aussi comme avant. »

La trajectoire que doit suivre le centre partage l'ouragan en deux parties égales, mais bien différentes l'une de l'autre. Dans l'une, en effet, le mouvement de rotation et celui de translation sont dans le même sens; dans l'autre, au contraire, la direction de la translation des vents et celle du mouvement rotatoire se contrarient. Il en résulte qu'à égale distance du centre, il vente beaucoup plus dans le premier hémicycle que dans le second: d'où le nom d'*hémicycle dangereux* donné à l'un, et celui d'*hémicycle maniable* donné à l'autre.

Dans l'hémisphère nord, le cyclone tourne de droite à gauche: c'est-à-dire qu'un observateur placé au centre du tourbillon verrait le vent passer devant soi de droite à gauche. L'hémicycle dangereux se trouvera à la droite de cet observateur s'il suit la même route que le centre de l'ouragan, et l'hémicycle maniable à gauche.

Dans l'hémicycle sud, au contraire, l'ouragan tourne de gauche à droite : l'hémicycle dangereux se trouve à gauche et l'hémicycle maniable à droite de la ligne de parcours du centre, en faisant même route que l'ouragan.

La direction du vent observé à un point quelconque du cyclone s'éloigne peu de la tangente menée par ce point au cercle concentrique sur la circonférence duquel on se trouve. Par suite, elle est toujours à peu près perpendiculaire au rayon qui de ce point va au centre du cercle concentrique ou du cyclone. Or, le sens de giration indique que si l'on fait face au vent, on aura forcément le centre à sa droite dans l'hémisphère nord et à sa gauche dans l'hémisphère sud, mais toujours à angle droit avec la direction du vent.

C'est sur ce dernier fait, indiscutable aujourd'hui après les nombreuses observations que l'on a recueillies, que sont basées toutes les théories sur les moyens d'éviter le centre d'un cyclone

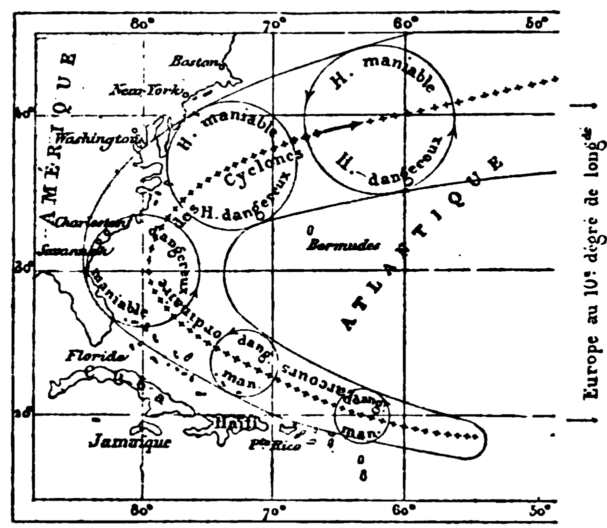


Fig. 169. — Parcours ordinaire des cyclones dans l'Atlantique.

en s'éloignant de la ligne qu'il doit parcourir. Plus on est près du centre et plus le vent est violent, et plus ses variations sont fortes et brusques. Par suite, c'est aussi l'endroit où la mer sera le plus mauvaise, car elle y reçoit, à des intervalles très-courts, des vents très-différents et d'une extrême violence, et cela après avoir été soulevée par des vents relativement constants qui ont eu le temps de la grossir et de lui donner une direction qui n'est plus celle du vent. D'où un tohu-bohu de lames courtes, échevelées, énormes, affolées, venant de toutes les directions et qui fatiguent d'une horrible façon le malheureux navire qu'elles ballottent.

Ce qu'il faut éviter, c'est de se trouver sur le passage du centre du cyclone. Cela est facile.

Supposons qu'un centre de cyclone se dirige vers un navire. Il passera inévitablement sur ce navire, ou à sa droite ou à sa gauche. S'il doit passer dessus, sa direction par rapport au navire ne changera pas; mais alors celle du vent, qui lui est toujours perpendiculaire, ne changera pas non plus, et ce navire verra le vent augmenter de violence sans changer la direction.

Si le centre doit passer à la droite du navire, il se déplacera en gagnant peu à peu vers la droite. Sa direction variera de gauche à droite; mais celle du vent, qui est liée à la première, variera dans le même sens, soit de gauche à droite.

Le contraire se produira si le centre doit passer à la gauche du navire.

Donc si le vent augmente sans changer de direction, on se trouve sur la ligne de parcours du centre; si le vent tourne de gauche à droite, le navire sera sur la gauche de cette ligne; enfin si le vent tourne de droite à gauche, on est sur la droite de la ligne du centre.

Il est évident d'après les lois des cyclones que nous venons d'exposer, que la position la plus fâcheuse pour un navire par rapport à l'ouragan est celle qui le conduit au centre, et c'est à s'en éloigner que doivent tendre tous les efforts d'un capitaine.

Rien n'est plus facile que de reconnaître ce centre. Plusieurs moyens se présentent; nous allons, avec notre érudit confrère M. Rambosson, indiquer le plus simple.

On se place dans la direction du vent qui souffle, de manière à lui faire face et à en être frappé en plein visage. Dans cette position, d'après les lois du cyclone, le centre de l'ouragan se trouve toujours sur la gauche de l'observateur, à 90 degrés de la direction du vent. Il est clair qu'en étendant le bras gauche horizontalement et parallèlement à la surface du corps, on indiquera immédiatement la position de ce centre.

Cette méthode pratique et qui ne souffre aucune exception est si facile à retenir et à exécuter, qu'il ne peut plus être permis à un marin d'ignorer où se trouve le centre fatal *qu'il faut fuir à tout prix.*

La science est donc arrivée au point de se jouer impunément avec un navire, au milieu de ces phénomènes terribles, sans l'exposer à de sérieuses avaries.

Pour un bâtiment à vapeur toujours maître de sa manœuvre, fait remarquer très-judicieusement M. Bridet, il n'est plus d'ouragan possible. Sans doute qu'il peut être enveloppé dans le tourbillon et y rencontrer de violentes bourrasques, mais plus de ces rafales terribles, plus de ces sautes de vent qui l'exposent ainsi que ceux qui le montent à une perte presque certaine.

Pour un capitaine instruit, un ouragan n'est plus qu'une trombe ordinaire, autour de laquelle il circule, s'en écartant ou s'en approchant, selon que cela lui est utile.

Tout est prévu par lui; il sait d'avance quelle variation le vent doit présenter, quelle sera la violence des rafales, et il est sûr de n'être jamais fatalement entraîné au milieu de ce centre dangereux, toujours la cause de désastres inévitables.

Hachette & Cie



Th. Weber pinx
Lith. Cicéri Chromolith

Les premiers signes précurseurs du cyclone se lisent dans l'état du ciel :

Quelques jours avant l'ouragan, au moment du lever et du coucher du soleil, les nuages se colorent en un rouge orangé, qui se reflète sur la mer, et cette coloration fait assister à ces levers et couchers du soleil si brillants et si magnifiques, qui imposent un profond sentiment d'admiration à ceux qui ne se doutent pas de l'imminence du danger que révèle ce ravissant tableau.

A mesure que le cyclone s'approche, cette teinte rougeâtre prend une couleur plus prononcée et tirant sur le rouge cuivré; puis un bandeau noirâtre et épais étend sur le ciel un aspect sinistre. Les têtes de cumulus sont d'un rouge cuivré, donnant à la mer et à tous les objets qui sont à terre un reflet analogue, qui fait paraître l'atmosphère comme embrasée d'un éclat métallique.

Les oiseaux de mer se rallient en grande hâte, et vont dans les terres chercher un abri contre les fureurs d'une tempête qu'ils pressentent, espérant ainsi échapper à la mort qui les frapperait au large.

Mais de tous les signes précurseurs de la tempête, le plus sûr et le plus facile à interpréter, c'est le mouvement du *baromètre*.

La pression de l'air allant en diminuant de la circonférence au centre du tourbillon, l'approche du phénomène se manifeste toujours par une baisse barométrique. Ce même symptôme caractérise les tempêtes de nos régions tempérées, qui ne sont pour ainsi dire que des suites des cyclones océaniques.

Le baromètre commence à descendre 12, 24 et même 48 heures avant l'arrivée du cyclone.

Un calme stupéfiant, accompagné d'un air chaud et étouffant, règne pendant vingt-quatre heures; la nature semble recueillir toutes ses forces pour accomplir l'œuvre de dévastation qui va marquer le passage du funeste météore.

Quelle que soit la marche suivie par l'ouragan, on est au point le plus rapproché du centre dès que le baromètre cesse de descendre. Alors, pendant deux ou trois heures, on voit cet instrument monter et baisser à chaque demi-heure, sans avoir de mouvement prononcé.

C'est un signe certain que l'on se trouve proche du centre; que la plus grande violence a été ressentie, et que les rafales ne vont plus désormais aller qu'en diminuant; et cet indice rassurant doit ramener l'espoir et la confiance chez tous ceux dont les intérêts étaient si cruellement menacés.

La baisse barométrique totale est d'autant plus grande que la raréfaction centrale est plus complète, et cette raréfaction elle-même, produite en grande partie par la force centrifuge, s'augmente en raison de l'accroissement du mouvement rotatoire, qui fait la violence des rafales. Le baromètre baisse donc à mesure que la violence du vent est plus intense, et les ouragans les plus désastreux sont aussi ceux qui l'influencent davantage.

La raréfaction de l'atmosphère au centre des cyclones est mise en évidence d'une manière très-remarquable par le petit tableau suivant de l'abaissement, puis du relèvement, de la colonne barométrique, pendant l'ouragan qui est passé sur Saint-Thomas le 2 août 1837, et dont le calme central s'est produit à huit heures du soir :

2 août 6h	du matin...	760		2 août 7h50	du soir....	712	Calme plat.
2	du soir....	756		8 20	—	712	
3 20	—	753		8 22	—	721	Ouragan du S. E.
4 45	—	749	Ouragan du N. O.	8 38	—	726	
5 45	—	744		8 50	—	731	
6 30	—	740		9	—	735	
6 35	— ...	734		9 25	—	742	
7	—	731		9 50	—	747	
7 10	—	726		11	—	752	
7 22	— ...	718		3 août 2	du matin...	755	
7 35	—	714		9	— ...	760	

Variation : 48 millimètres !

Ces profondes perturbations de l'air sont peut-être, après les grandes éruptions volcaniques, les météores les plus effrayants de la planète, et l'on ne saurait s'étonner, dit Élisée Reclus dans son magnifique ouvrage sur *la Terre*, que, dans la mythologie des Indous, Rudra, le chef des vents et des orages, ait fini par devenir, sous le nom de Siva, le dieu de la destruction et de la mort. Quelques jours avant que le terrible ouragan se déchaîne, la nature, déjà morne et comme voilée, semble pressentir un désastre. Les petites nuées blanches qui voyagent dans les airs avec les contre-alizés se cachent sous une vapeur jaunâtre ou d'un blanc sale; les astres s'entourent de halos vaguement irisés, de lourdes assises de nuages, qui, le soir, offrent les plus magnifiques nuances de pourpre et d'or, pèsent au loin sur l'horizon, l'air est étouffant comme s'il venait de passer sur la bouche de quelque grande fournaise. Le cyclone, qui tournoie déjà dans les régions supérieures, se rapproche graduellement de la surface du sol et des eaux. Des lambeaux déchirés de nuages rougeâtres ou noirs sont

entraînés avec furie par la tempête, qui plonge et traverse l'espace en fuyant; la colonne de mercure s'agite affolée dans le baromètre et baisse rapidement; les oiseaux se réunissent en cercle comme pour se concerter, puis s'enfuient à tire-d'aile, afin d'échapper au météore qui les poursuit. Bientôt une masse obscure se montre dans la partie menaçante du ciel; cette masse grandit, s'étale peu à peu et recouvre l'azur d'un voile affreux de ténèbres et d'un reflet sanglant. C'est le cyclone qui s'abat et prend possession de son empire en tordant ses immenses spirales autour de l'horizon, et à un silence terrible succède le hurlement de la mer et des cieux.

Au commencement des cyclones, un bruit étrange, sourd, s'élève quelquefois et tombe « avec un gémissement semblable à celui du vent dans les vieilles maisons pendant les nuits d'hiver » (Piddington). Un bruit analogue, qui vient du large et qui annonce les tempêtes, est connu en Angleterre sous le nom d'appel de mer. Les rafales qui déchirent l'air pendant le cyclone font entendre, disent les relations, comme un rugissement de bêtes sauvages, un effroyable tumulte de voix sans nombre et de cris de terreur. Sur le passage du centre, un bruit formidable ressemblant à des décharges d'artillerie, un continuel grondement de tonnerre, la voix même de l'ouragan éclate et domine tout.

La marche des vents éprouve de la résistance sur les continents; mais les phénomènes qui s'y produisent pendant les ouragans n'en sont pas moins terribles. Les constructions qui se trouvent sur le chemin du météore sont arrachées de leurs fondements, les eaux des fleuves sont arrêtées et refluent vers leur source, les arbres isolés éclatent et labourent la terre de leurs racines, les forêts plient comme si elles ne formaient qu'une seule masse, et livrent à la tempête leurs branches rompues et leurs feuilles déchirées. L'herbe même est déracinée et balayée du sol. Dans le sillage de l'ouragan volent d'innombrables débris pareils aux épaves qu'emporte un courant fluvial ou maritime. D'ordinaire, l'action de l'électricité s'ajoute à la violence de l'air en mouvement pour augmenter les ravages de la tempête; parfois les éclairs sont tellement nombreux, qu'ils descendent en nappes comme des cascades de feu; les nuages, les gouttes de pluie même émettent de la lumière; la tension électrique est tellement forte, qu'on a vu, dit Reid, des étincelles jaillir spontanément du corps d'un nègre. Une forêt de l'île Saint-Vincent fut tuée tout entière sans que pourtant un seul tronc eût été renversé. De même, en

Europe, sur les rivages du lac de Constance, un très-grand nombre d'arbres restés debout, malgré l'orage, furent complétement dépouillés de leur écorce.

C'est principalement sur les rivages des îles et des continents, là où la tempête, arrivant avec toute sa force initiale, n'a pas encore été retardée par les obstacles du sol, que les effets du météore sont le plus violents. C'est aussi là que, dans le

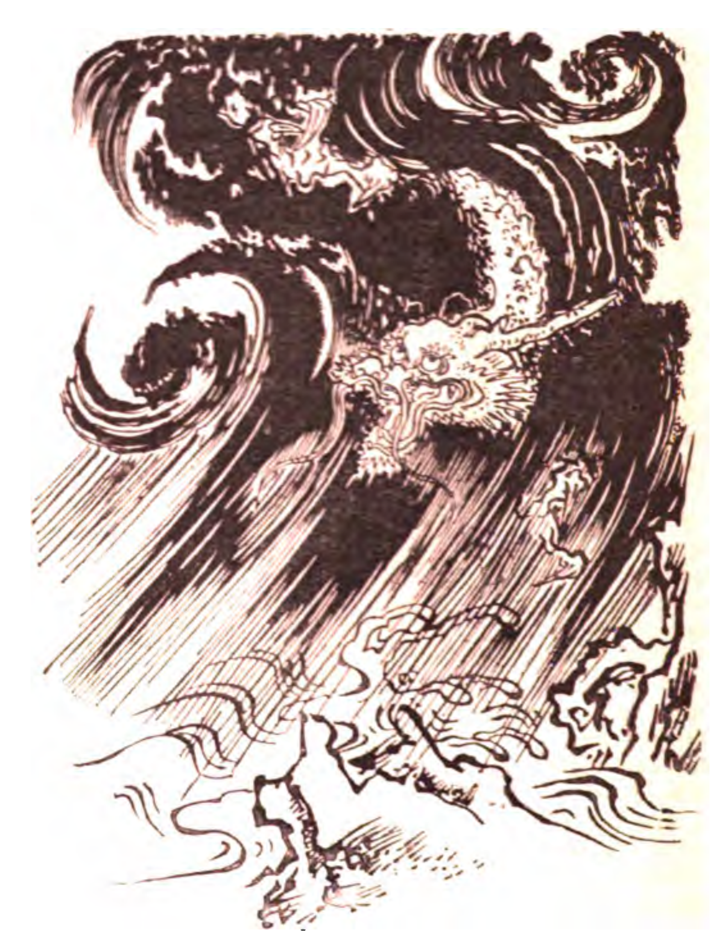


Fig. 170. — Le dragon des typhons, d'après un dessin japonais.

désastre général, sont dévorées le plus grand nombre de vies humaines, puisque les navires se donnent précisément rendez-vous dans les ports, et qu'en maints endroits des côtes il se trouve des terres basses que les eaux, brusquement refoulées, peuvent noyer sur de vastes étendues.

Depuis Colomb, le premier Européen qui ait contemplé les ouragans des Antilles, des milliers de navires se sont engloutis pendant les tempêtes tournantes des mers tropicales, soit au fond des ports et des rades, soit dans les mers qui baignent les côtes d'Amérique, de la Chine, de l'Indoustan et les îles de l'océan In-

dien. Tel cyclone, comme celui de Calcutta en 1864, ou de la Havane en 1846, a fracassé plus de cent cinquante grands vaisseaux en quelques heures; tel autre cataclysme du même genre, notamment celui qui passa sur le delta du Gange en octobre 1737, noya plus de vingt mille personnes dans les eaux débordées.

Au milieu de l'Océan, les dangers que courent les navires sont moindres qu'ils ne le sont dans les rades mal fermées des côtes; mais les sensations éprouvées par les marins doivent être d'autant plus vives qu'ils sont complétement isolés, perdus dans l'effroyable tourmente. Autour d'eux, le jour est sombre, plus sombre que la nuit, dirait-on, puisque le peu de lumière qui reste encore sert à faire voir les ténèbres. Les vents, qui hurlent et qui sifflent, les flots qui s'entre-choquent, des mâts qui se ploient et se cassent, les membrures du navire qui se plaignent, toutes ces voix sans nombre se mêlent et se confondent en un mugissement effroyable, désespéré, couvrant même les éclats de la foudre. La mer ne se déroule plus en vagues larges et puissantes; mais elle bout à gros bouillons comme une chaudière énorme chauffée par le feu de volcans sous-marins. Les nuages bas ou même rampant sur les eaux émettent souvent une lueur qu'on dirait être le reflet de quelque géhenne invisible; au zénith paraît environné de ténèbres un espace blanchâtre que les marins ont nommé « l'œil de la tempête, » comme s'ils voyaient réellement un dieu féroce dans l'ouragan qui descend du ciel pour les étreindre et les secouer. Certes, lorsqu'au milieu de cette horrible tourmente les matelots acceptent la lutte contre les éléments, et, défiant la mort, essayent de manœuvrer pour ramener leur navire désemparé, sans voile et sans mâts, ils donnent un sublime exemple de la grandeur humaine.


Fig. 171. — Le dieu du tonnerre, d'après un dessin japonais.

Les Japonais, témoins journaliers de ces cataclysmes, ont personnifié, dans leurs fantastiques symboles, ce génie des tempêtes, qu'ils appellent le *dragon des typhons*, et qu'ils représentent au milieu de la pluie noire et sinistre comme un monstre aérien précipité des nues. Ces étranges dessins, qui mettent en scène les forces profondes de la nature, nous montrent le *dieu du tonnerre* sous la forme d'un vieillard horripilé secouant des tambours sonores, et le *dieu des vents* volant dans les airs en portant sur les épaules son outre toujours enflée.

Pour apprécier ces formidables mouvements de l'Atmosphère, il est intéressant d'avoir une description exacte des exemples les plus mémorables.

Le plus terrible cyclone des temps modernes est probablement celui du 10 octobre 1780, que l'on a spécialement nommé le grand ouragan, et qui semble avoir résumé toutes les horreurs de ces grandes scènes de la nature. Partant des Barbades, où rien ne resta debout, ni arbres ni demeures, il fit disparaître une flotte anglaise mouillée devant Sainte-Lucie, puis il ravagea complétement cette île, où six mille personnes furent écrasées sous les décombres. Ensuite le tourbillon, se portant sur la Martinique, enveloppa un convoi de transports français, et coula plus de quarante navires portant quatre mille hommes de troupes. Les bâtiments

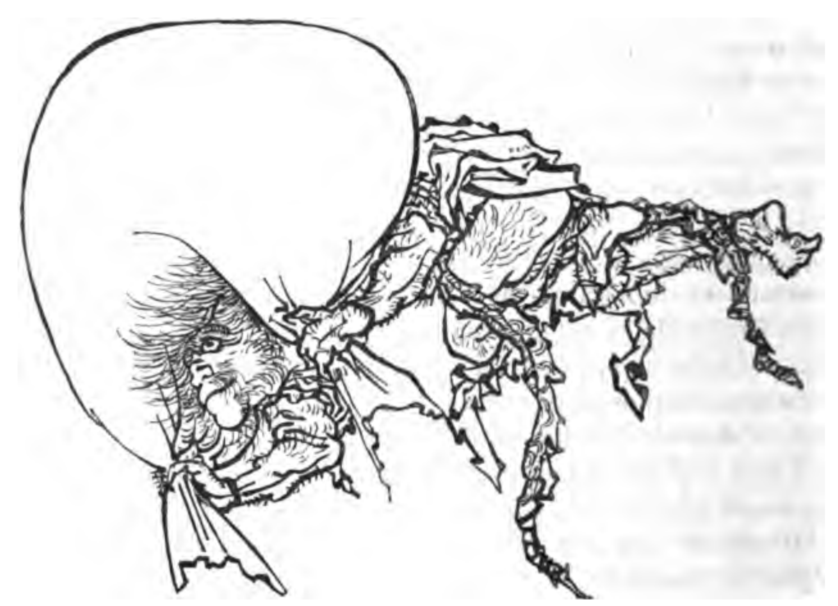


Fig. 172. — Le dieu des vents, d'après un dessin japonais.

du convoi disparurent : telle est l'expression laconique dont se servit le gouverneur de la Martinique dans son rapport. Plus au nord, la Dominique, Saint-Eustache, Saint-Vincent, Puerto-Rico furent également dévastés, et la plupart des bâtiments qui se trouvaient sur le chemin du cyclone sombrèrent avec leurs équipages. Au delà de Puerto-Rico, la tempête se replia au nord-est vers les Bermudes, et, bien que sa violence se fût graduellement affaiblie, elle n'en coula pas moins plusieurs vaisseaux anglais qui retournaient en Europe. La rage destructive de l'ouragan ne fut pas moindre à terre. Neuf mille personnes périrent à la Martinique, mille à Saint-Pierre seulement, où il ne resta pas une seule maison debout, car la mer s'éleva à une hauteur de 7^{m},5, et cent cin-

quante maisons disparurent instantanément le long de la plage. A Port-Royal, la cathédrale, 7 églises et 1400 maisons furent renversées; 1600 malades blessés furent ensevelis sous les ruines de l'hôpital, A Saint-Eustache, sept bâtiments furent mis en pièces sur des rochers, et des dix-neuf qui coupèrent leurs amarres et qui gagnèrent le large, un seul retourna au port. A Sainte-Lucie, six mille personnes périrent; les plus fortes constructions furent arrachées de leurs fondations; un canon fut transporté à plus de 30 mètres, et des hommes ainsi que des animaux, furent enlevés du sol et jetés à plusieurs mètres de distance. La mer monta à une si grande hauteur, qu'elle démolit le fort, et renversa un bâtiment contre l'hôpital, qui fut écrasé sous le poids. Des 600 maisons de Kingstown, dans l'île Saint-Vincent, 14 seulement restèrent debout! la frégate française *la Junon* se perdit.

Dans les Iles sous le Vent, les personnes qui habitaient le palais du gouvernement cherchèrent un refuge au centre des constructions, pendant le fort de la tempête, pensant que l'épaisseur énorme des murs (près d'un mètre) et leur forme circulaire les préserveraient de la fureur du vent; à onze heures et demie, elles étaient forcées de se réfugier dans la cave, le vent ayant pénétré partout et arraché presque tous les toits; mais l'eau montant à une hauteur de plus d'un mètre, il fallut se sauver dans les batteries, où chacun chercha un abri sous les canons, dont quelques-uns furent déplacés par la force du vent. L'ouragan était si fort que, scondé par la mer, il porta un canon de 12 à une distance de 126 mètres (sur son affût, sans doute, qui avait des roues). Au jour, la campagne avait le même aspect qu'en hiver; il ne restait plus une seule feuille, ni une seule branche aux arbres. La colère des hommes s'arrête devant une semblable lutte des éléments. Lorsque *le Laurier* et *l'Andromède* se perdirent à la Martinique, le marquis de Bouillé mit en liberté les vingt-cinq marins anglais qui avaient survécu au naufrage, en écrivant au gouverneur anglais de Sainte-Lucie qu'il ne voulait pas garder prisonniers des hommes tombés entre ses mains pendant une catastrophe commune à tous (Dove).

L'un des plus curieux exemples de ces convulsions de l'Atmosphère nous est fourni par le cyclone des Indes du 10 août 1831, raconté dans les termes palpitants qui suivent par le major général Reid dans sa *Météorologie américaine* :

La Barbade est distante de l'île Saint-Vincent de 37 lieues environ. La tempête

commença à la Barbade un peu avant minuit, le 10 août 1831; elle atteignit Saint-Vincent à sept heures du matin. Sa marche était donc de 5 lieues à l'heure.

Un gentleman qui habitait Saint-Vincent depuis quarante ans, étant monté à cheval au point du jour, se trouvait à environ un mille de son habitation, lorsqu'il aperçut dans le nord un nuage d'une apparence si menaçante, que pendant sa longue résidence sous les tropiques il n'avait jamais rien vu d'aussi alarmant : ce nuage lui parut d'une couleur gris olive. Appréhendant une horrible tempête, il se hâta de regagner son domicile et d'y clouer portes et fenêtres : précaution à laquelle il attribua la conservation de sa maison.

Vers minuit, les éclairs jaillirent avec un éclat à la fois majestueux et terrible, et un coup de vent souffla avec force du nord et du nord-est; à une heure du matin, la furie du vent augmenta, et la tempête qui avait soufflé du nord-est sauta subitement au nord-ouest et aux points intermédiaires. A partir de ce moment les régions supérieures furent constamment illuminées par des éclairs incessants, formant une vaste nappe de feu, mais dont l'éclat fut souvent dépassé par celui des décharges d'électricité qui éclataient de tous côtés. Rien ne saurait dépeindre le bruit assourdissant de l'ouragan, lequel, peu après deux heures, souffla du nord-nord-ouest et du nord-ouest. Vers trois heures, le vent se modéra par intervalles; mais de temps à autre de terribles rafales soufflèrent du sud-ouest, de l'ouest et de l'ouest-nord-ouest, avec une force redoublée.

Les éclairs ayant aussi cessé par intervalles, la ville était enveloppée d'une obscurité qui inspirait une frayeur indicible. Bientôt après, des météores de feu tombèrent du ciel; l'un d'eux, descendant perpendiculairement d'une hauteur prodigieuse, attira particulièrement l'attention : il était de forme circulaire et d'une couleur rouge foncé. Ce météore était évidemment entraîné par l'effet de son propre poids, et ne recevait d'impulsion d'aucune force étrangère. En s'approchant du sol, ce globe enflammé prit une forme allongée d'une blancheur éblouissante, et éclata en se répandant comme l'aurait fait un métal en fusion.

Quelques instants après l'apparition de ce phénomène, le bruit assourdissant du vent se transforma en un *murmure solennel*, ou, pour mieux dire, en un mugissement lointain, et les éclairs, qui depuis minuit avaient presque incessamment lancé des fourches, se succédèrent avec une activité effrayante pendant près d'une demi-minute entre les nuages et la terre. La vaste masse des nuages semblait toucher les maisons et lançait vers la terre des volumes de flammes que celle-ci renvoyait aussitôt dans l'espace.

Dès que cette singulière alternative d'éclairs cessa, l'ouragan éclata de nouveau du côté de l'ouest avec une violence prodigieuse et indescriptible, lançant de toutes parts des milliers de projectiles, fragments de toutes les constructions qui n'étaient pas à l'abri de sa violence. Pendant le passage de l'ouragan le sol trembla et les maisons les plus solidement construites furent ébranlées jusque dans leurs fondements. Cependant, à aucun moment de la tempête, pas une seule détonation de tonnerre ne fut distinctement entendue. Le hurlement du vent, le mugissement de l'Océan dont les vagues gigantesques menaçaient de détruire tout ce que les autres éléments auraient épargné, et le bruit des tuiles s'entre-choquant, des toits et des murs s'écroulant, etc., formaient le fracas le plus épouvantable qu'on puisse imaginer.

Vers cinq heures, la force de l'ouragan mollit par intervalles, et on entendit clairement pendant quelques courts instants la chute des matériaux que la queue de la tempête avait probablement portés à une hauteur extraordinaire.... A six heures, le vent était sud; à sept heures, sud-est; et à huit heures, est-sud-est. A neuf heures, le temps était redevenu beau.



Fig. 173. — La tempête.

Du haut de la cathédrale, de quelque côté que l'on dirigeât ses regards, on ne voyait que désolation et ruines. Toute la surface du pays était ravagée; aucune trace de végétation ne paraissait, si ce n'est, çà et là, quelques touffes d'herbe jaunie. Le sol était roussi et brûlé comme si une traînée de feu avait passé sur le pays et consumé tous ses produits. Les quelques arbres qui restaient encore debout, dépouillés de leurs rameaux et de leurs feuilles, avaient l'aspect triste et morne de l'hiver; et les nombreuses villas des environs de Bridgetown, naguère entourées de bosquets, étaient maintenant à nu et en ruine.

Une pluie d'eau salée tomba dans toutes les parties de l'île. Le poisson d'eau douce périt dans les étangs, et l'eau des viviers resta salée plusieurs jours après l'ouragan.

Ainsi que l'attestent la plupart des rapports, la quantité d'électricité développée dans les grands ouragans est vraiment remarquable. Les éclairs ne sont point de simples lueurs d'une durée éphémère, mais des flammes passant rapidement sur la surface de la terre, aussi bien que s'élevant jusque dans les régions supérieures.

L'un des derniers cyclones observés est celui que traversa la frégate française *la Junon*, le 1er mai 1868, frégate de premier rang commandée par le capitaine de Marivault, partie de France pour une mission dans les mers de l'Inde et de la Chine.

Malgré tous les efforts accomplis pour s'éloigner du centre, d'après les indications barométriques rappelées plus haut, on ne put couper à temps sa trajectoire, et l'on fut atteint par la tourmente furieuse qui inonda le pont et éteignit les fourneaux.

La mer s'élevait en véritables montagnes, qui déferlaient lourdement sur le navire. Elle avait emporté la galerie, les embarcations suspendues sur les flancs et à l'arrière. Une grande ancre, détachée de ses liens, avait produit, en défonçant un sabord de l'avant, une large voie d'eau qu'on put avec beaucoup de peine boucher en y entassant des hamacs. Une pluie torrentielle se joignait aux coups de mer continuels, et la lutte était désormais dirigée contre l'envahissement des flots. L'équipage entier, distribué entre les pompes et les chaînes de seaux, travaillait avec une admirable confiance et un sang-froid plein d'entrain.

La tourmente durait depuis sept heures, écrit un officier, redoublant à chaque heure de violence et de bruit.... quand tout à coup, un silence absolu se fit, un silence que je ne puis comparer qu'à celui qui suit l'explosion d'une mine sur un bastion pris d'assaut. C'était le calme central, calme subit et étrange qui produisit plutôt de l'étonnement qu'une impression de sécurité, tant on s'y sentait comme en dehors des lois ordinaires de la nature. Le mouvement du tourbillon continuait dans le haut de la colonne d'air dont nous occupions la base. Des oiseaux, des poissons, des sauterelles, des debris sans forme tombaient de tous côtés, et l'état électrique de l'Atmosphère produisait une sensation vertigineuse sans analo-

gue dans nos souvenirs, se manifestant par un état extraordinaire d'exaltation chez quelques hommes habituellement très-calmes.

De nombreux oiseaux étaient retenus dans cette espèce de gouffre aérien. Parmi eux, se trouvaient plusieurs échassiers : ce qui indique, avec les insectes et les débris de plantes, que le cyclone avait passé sur des îles. Quelques-uns des poissons volants qui tombaient sur le pont étaient vivants; d'autres, morts depuis quelque temps, sentaient déjà.

On profita du calme central pour mettre des chaloupes à la mer, vider l'eau du navire, débarrasser les voiles, installer un gouvernail de fortune, et attendre avec confiance la reprise de la tempête.

Après cinq heures de calme, vers midi, les premiers souffles du vent se firent sentir, et quelques instants après, l'ouragan dans toute sa force emportait de nouveau le bâtiment. Les rafales arrivaient maintenant du nord, mais aucune des voiles qui avaient été préparées ne put tenir. Il était par suite impossible de manœuvrer pour s'éloigner rapidement du cyclone; le changement d'amures prescrit par la théorie, afin de prendre le vent par bâbord, put seul être opéré. On fut réduit encore à un rôle passif au milieu des fureurs de l'ouragan, qui ne devait s'éloigner qu'au bout de deux jours par l'effet de son lent mouvement de translation.

Les dernières tempêtes mémorables qui se soient déchaînées sont celles du 27 février au 3 mars 1869, dont le naufrage du navire à trois mâts *la Lérida* de Nantes, venant d'Haïti et échoué au Havre, est resté dans les annales maritimes comme un des plus émouvants épisodes de nos côtes.

Le 2 mars, à 10 heures du matin, au milieu d'une mer furieuse, ce trois-mâts, que l'on suivait depuis deux heures du regard, arrivait près de la jetée, alors qu'un courant terrible, dont la puissance était encore décuplée par le vent du nord-ouest, produisait une barre infranchissable.

Bientôt, il ressentit les premières atteintes du courant, qui deux heures plus tard aurait été presque sans effet. Il avait jusqu'alors pu naviguer vent arrière mais il dut virer du lof, et cette manœuvre, en diminuant sa vitesse, le livra presque sans défense aux éléments déchaînés.

Une angoisse poignante étreignit tous les spectateurs, parmi lesquels les hommes de mer étaient en majorité. Ils avaient compris que dès ce moment le salut de *la Lérida* était gravement compromis. Son capitaine essaya d'une manœuvre désespérée. Il voulut virer lof pour lof afin de s'élever au large ou tout au moins d'entrer en baie de Seine; mais cette manœuvre trop tardivement tentée ne put réussir. Un dernier espoir restait: les deux ancres furent mouillées; elles ne purent mordre à temps!

On put encore croire un instant que tout n'était pas désespéré; les ancres s'étaient accrochées, mais sous l'impulsion des montagnes liquides, qui venaient

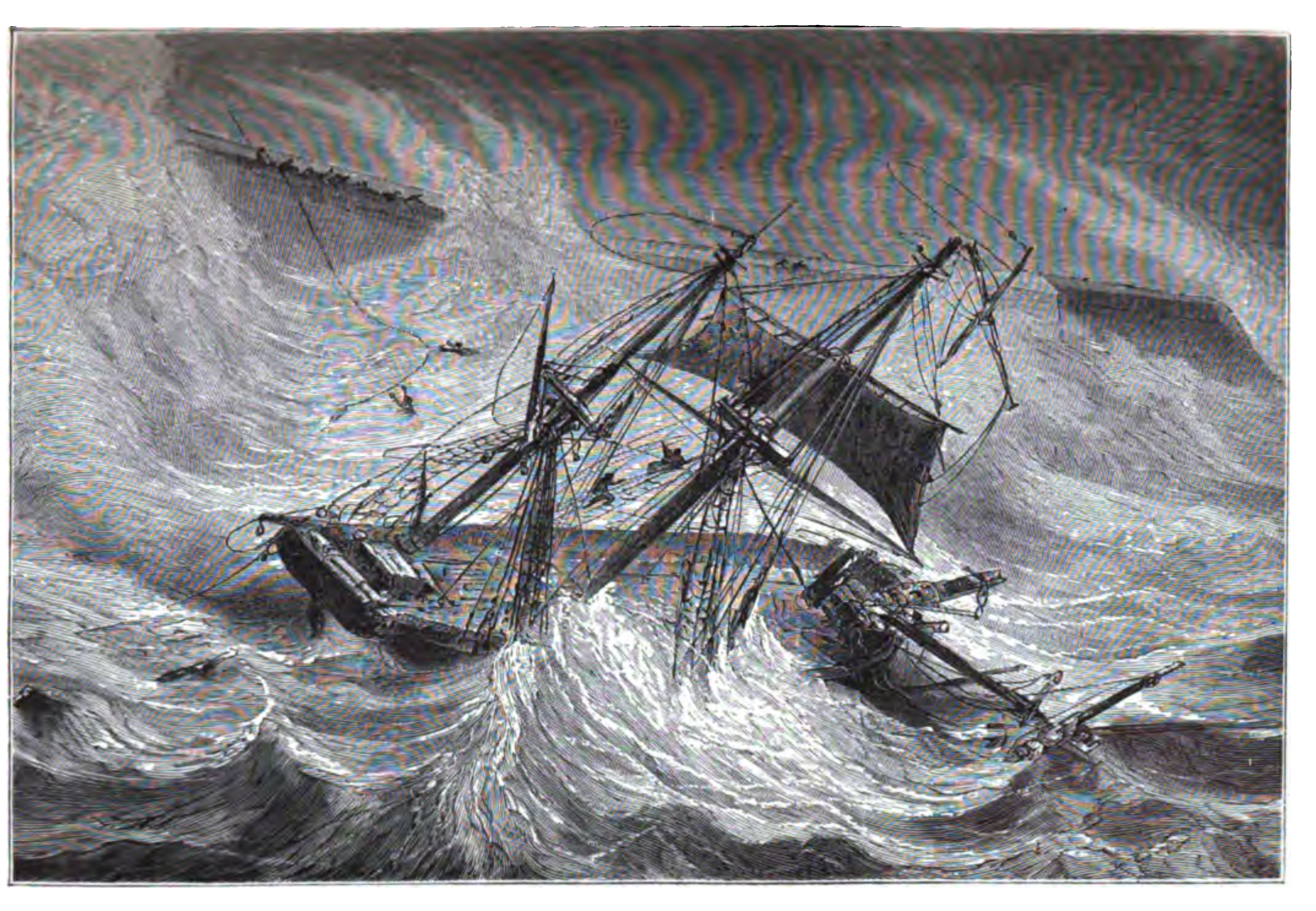


Fig. 174. — Le naufrage du navire *la Lérida* au Havre, en 1869.

sans cesse se briser sur le poulier, les chaînes impuissantes se cassèrent. Tout était perdu.

En moins de temps qu'il n'en faut pour le décrire, *la Lérida*, devenu le jouet des flots, allait donner de bout dans l'angle d'un bastion, où son bout dehors, son beaupré et son étrave furent brisés du coup.

Il ne s'agissait plus alors de sauver le navire; le salut de l'équipage devenait douteux. C'est en courant qu'on avait quitté la jetée, vingt embarcations avaient transporté de l'autre côté du port des citoyens dévoués et prêts à tout tenter pour le sauvetage. Fort heureusement, le navire était assez près de terre pour qu'on pût lancer à bord des lignes afin de ramener les hommes de l'équipage. Les lamaneurs, les douaniers de service, et beaucoup d'autres citoyens courageux furent assez heureux pour arracher ainsi à la mer presque tous les marins en danger.

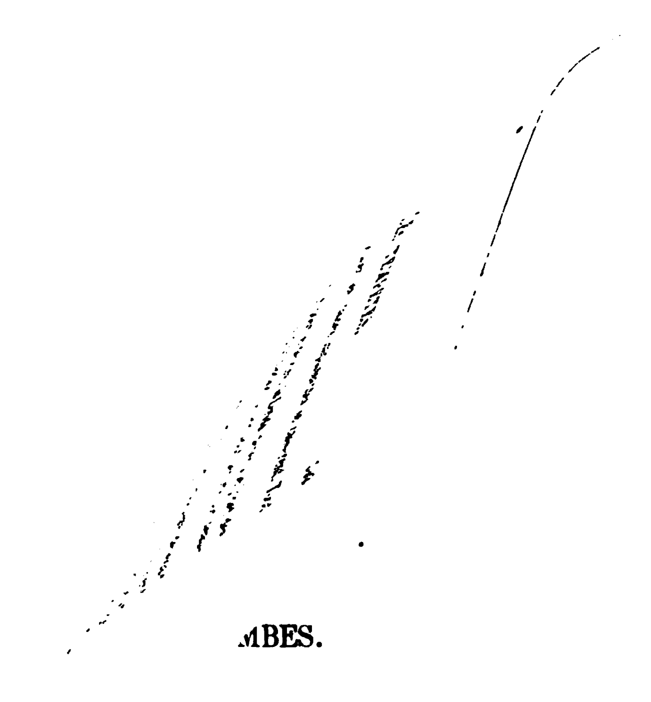
Il n'y eût eu aucun deuil à déplorer si deux hommes saisis d'une frayeur, que justifie la perspective d'un pareil péril, ne s'étaient précipités ensemble sur un cordage trop faible pour les supporter. On les virait à terre, lorsqu'un coup de ressac est venu déterminer la rupture de la ligne à laquelle ils se cramponnaient.

On les voit surnager quelques instants encore parmi les épaves que broyaient les vagues; puis, plus rien!

Après ce navrant épisode, le capitaine, qui était resté le dernier à son bord, put à son tour saisir une ligne qui l'amena sain et sauf. Bientôt le navire disparut, brisé par les vagues....

Peu de temps avant cet ouragan, vers la mi-janvier, de violentes tempêtes bouleversaient l'Atlantique et y soulevaient une mer énorme. Tous les journaux ont parlé du danger couru par *le Péreire*, paquebot français parti de Brest le 16 janvier, en destination de New-York, et assailli, quatre jours après son départ, par une lame monstrueuse, dont la masse a été évaluée à plus de 700 tonnes d'eau. Ce paquebot, qui portait 200 personnes, et 500 tonneaux de marchandises, n'a dû son salut qu'à la solidité de sa construction, à l'énergique sang-froid de son capitaine et à l'habileté de sa manœuvre. Après le formidable coup de mer qui pouvait faire sombrer le navire, on a recueilli au milieu des débris vingt et un blessés, et on a relevé quatre cadavres. En outre deux passagers avaient disparu.

Ajoutons, en terminant, que dans la zone torride et dans tous les climats à haute température, les ouragans sont fréquents et se déploient avec une violence prodigieuse; dans nos climats tempérés, ils sont à la fois plus rares et moins violents; et dans les régions polaires, les grandes secousses atmosphériques, qui sont du reste assez habituelles, se réduisent à des vents de tempête, ou seulement à des vents très-forts.



.MBES.

..s météores qui viennent troubler l'ordre appa-
..onie de la nature, parmi les grands phénomènes qui
la terreur et la désolation où ils apparaissent, il en est un
. fait remarquer par ses formes bizarres et gigantesques, par
forces étrangères auxquelles il paraît obéir, par les lois incon-
nues et en apparence contradictoires qui le règlent, enfin par les désastres qu'il occasionne. Ces désastres sont eux-mêmes accompagnés de circonstances particulières si étranges, qu'on ne peut confondre leur cause avec les autres météores funestes à l'humanité. Ce météore si menaçant, si extraordinaire, et heureusement si rare dans nos contrées, est celui que les Français désignent maintenant d'une manière générale par le mot *Trombe*.

C'est par ce paragraphe que le météorologiste Peltier ouvre son ouvrage spécial sur *les Trombes*. Avant ses études ingénieuses et patientes, l'explication de ce curieux phénomène atmosphérique laissait beaucoup à désirer. Aujourd'hui, nous pouvons désigner exactement sa nature et son caractère, en disant qu'une trombe est une colonne d'air, pivotant ordinairement avec rapidité sur elle-même, et se mouvant d'une translation relativement lente, car on peut généralement la suivre à la marche. Cette colonne d'air tourbillonnant a l'électricité pour cause et pour force motrice. Le vent souvent furieux qu'elle produit par son mouvement même, et qui détermine sur son passage les effets désastreux que nous allons voir, n'est pas le résultat de courants atmosphériques déployés sur une grande échelle, comme dans les cyclones, mais il

dimensions toujours très-restreintes de cette pro-
Les trombes n'ont souvent que quelques mètres
ır puissance est sans égale : elles balayent le
s, rasent les champs, les arbres, les mai-
es, avec une énergie telle que nul ves-
le passage de l'effrayant météore.
phénomène prend naissance.
ue considérable, la surface in-
aisse vers la terre, sous la forme
cône, comme un grand porte-voix
us la nue et dont l'embouchure s'appro-
sol ou de la surface de la mer. Ce cône ren-
us ou moins développé, plus ou moins altéré,
particulier des nuages et de la localité. Ce qui est
, c'est un lien de vapeur entre les nuages et la terre.

u-dessous de la colonne nuageuse une grande agitation apparaît sur la mer ou sur le sol. Cette agitation est comparée par les marins à celle d'une ébullition qui lancerait des vapeurs, des filets en gerbes liquides. Sur la terre la poussière des routes, les corps légers forment une fumée analogue. Il arrive bientôt que le tourbillon inférieur s'élève assez haut, et que la colonne supérieure descend assez bas pour qu'ils se joignent et se soudent en une seule et même colonne, plus épaisse du haut que du bas, et assez souvent transparente comme un tube dans lequel on voit quelquefois des vapeurs monter ou descendre.

Lorsque le milieu des eaux soulevées sur la mer est plus compact, il paraît comme un pilier placé pour soutenir la colonne descendante. Enfin il se fait dans cette colonne ou trompe marine un tapage qui varie considérablement, depuis le sifflement du serpent jusqu'au bruit de lourdes charrettes courant dans des chemins rocailleux. Ce bruit est bien plus considérable sur terre que sur mer.

Le génie de la destruction semble s'incarner dans cette singulière formation. La trombe s'avance avec une apparente lenteur, siffle des menaces effrayantes, se tord en convulsions, trace son sillage à travers les productions de la nature ou de l'humanité, faisant voler en éclats, disparaître en fumée tout ce qui s'oppose à son cours. Les désastres opérés par cet agent formidable montrent que sa pression atteint parfois quatre à cinq cents kilog. par mètre carré. On le voit prendre des troupeaux, des hommes, des rivières même, et les soulever à d'étonnantes hauteurs. Les toits

des édifices sont emportés dans les airs; les murs sont écartelés par la brusque violence d'une main de fer irrésistible. Pour apprécier à sa valeur cet étrange météore, considérons un instant quelques-unes de ses prouesses les plus mémorables.

Voici par exemple deux trombes qui furent observées au sud de Paris, le 16 mai 1806, de une à deux heures après midi, et qui semblent arrangées tout exprès pour la description théorique. Elles sont rapportées par Peltier, d'après un professeur nommé Debrun. On peut les appeler les *trombes de Paris*.

La première commença vers une heure, et parut offrir au moins 12 pieds de largeur à sa base, près du nuage, comme se trouverait celle d'un cône renversé et dont la pointe serait en bas. Elle prit alors successivement la longueur de 15, 20 à 40 pieds; plus elle descendait, plus sa forme conique devenait aiguë; car, dès le commencement de sa sortie du nuage, elle formait un cône parfait. A force de gagner en longueur et de perdre en proportion dans son volume, elle ne devint pas plus grosse que le bras.

Cette trombe chassait fort doucement vers le sud, ensuite vers l'ouest et le sud-ouest, mais d'une manière infiniment lente, et me paraissait être au-dessus des dernières maisons du faubourg Saint-Jacques, puis au-dessus de la plaine de Montrouge, Montsouris et la Glacière. Elle était de la couleur du blanc grisâtre des nuages ordinaires et ressortait très-bien du fond noirâtre des nuées.

Ce qui frappa le plus mon attention, ce fut de voir qu'elle formait un long tuyau, en partie *demi-transparent*, prenant plusieurs courbes ou inflexions, assez semblable à un long boyau flexible, dans lequel je voyais *monter les vapeurs* par ondulations, comme on verrait la fumée s'élever dans un tuyau de poêle qui serait de verre; ce qui était fort remarquable, c'est que l'ascension des vapeurs était bien plus déterminée, bien plus active vers la partie inférieure, qui pouvait être alors à 3 ou 400 pieds environ au-dessus de terre.

Comme la nue qui formait la tête de la trombe avançait, le corps de la trombe se courbait et la suivait, en s'allongeant de 15 à 1600 toises, pour ne pas s'en détacher; mais quand la trombe devint d'une grande longueur, par conséquent d'un volume très-petit, et qu'elle vint à prendre une inclinaison bien considérable (formant à peu près avec l'horizon un angle de 20 degrés); alors le corps de la trombe serpenta légèrement.

Cette trombe, dans sa plus grande inclinaison, paraissait avoir sa queue au-dessus d'Arcueil et sa tête au-dessus de Châtillon; mais, pendant le chemin que fit sa tête, je ne pus m'empêcher de remarquer qu'il semblait en quelque sorte que la partie la plus inférieure était fortement attirée ou retenue par la vallée d'Arcueil, et qu'elle ne pouvait s'en éloigner facilement.

Elle dura plus de trois quarts d'heure, et finit par sa pointe; sa partie supérieure me parut se replier dans le nuage qui lui avait donné naissance, ce que je ne pourrais pourtant pas affirmer positivement, vu qu'elle était alors à une grande distance au S. S. O. de Paris, fort petite de volume, et que des nuages vaporeux me la cachèrent.

Environ vingt minutes après la formation de cette trombe, j'en vis commencer une seconde, qui, à la vérité, ne présenta pas de particularités aussi intéressantes que la première, mais qui fut d'un effet beaucoup plus majestueux. Elle fut produite par un nuage, bien moins élevé que celui qui avait formé la première, et se montra au-dessus de l'hospice Cochin, rue du Faubourg-Saint-Jacques, et de l'Observatoire. Elle était grisâtre; avait, dans toute sa longueur, un tuyau lumineux

comme la lune; je voyais, dans sa partie inférieure, les vapeurs monter très-distinctement et rapidement. De temps à autre, et par petits intervalles, le corps de cette trombe s'allongeait ou se raccourcissait successivement, et quelquefois très-promptement. Elle passa devant la première, et paraissait n'en être éloignée au nord que de 1600 à 2000 pas; mais la première, vers la fin de son apparition, fuyait beaucoup plus vite vers le sud; elle suivit un peu la même direction que la première, et sa partie inférieure se courba légèrement vers l'ouest.

Il partit un coup de tonnerre d'un nuage peu éloigné des trombes, surtout de la seconde, et tout près d'elle, vers son côté ouest; elles n'en parurent nullement affectées. Nous jugeâmes aussitôt, par le bruit que fit le coup, que la foudre avait frappé la terre. Il tomba alors, autour du lieu où j'observais, des gouttes d'eau larges comme le pouce, mais très-rares, et aussi, presque en même temps, quelques grains de grêle de la grosseur d'une noisette.

La seconde trombe se replia graduellement vers son nuage générateur, qui l'absorba en assez peu de temps; elle disparut totalement au bout de vingt-cinq minutes, durée entière de son existence.

Ces trombes si théoriques étaient fort inoffensives, comme on le voit. Elles ne paraissent pas avoir touché terre, du reste; et sans doute elles l'eussent été moins pour un ballon qui se serait égaré dans leur voisinage. Mais voici des trombes à l'œuvre, dont le passage à la surface du sol a laissé des témoignages non douteux de la puissance de ces météores.

Le 6 juillet 1822, à une heure et demie de l'après-midi, dans la plaine d'Assonval, à six lieues de Saint-Omer et de Boulogne.... les nuages, venant de différents points, se rassemblèrent rapidement, et bientôt ils n'en formèrent plus qu'un, qui couvrit entièrement l'horizon. Un instant après, on vit descendre de ce nuage une vapeur épaisse, ayant la couleur bleuâtre du soufre en combustion. Elle formait un cône renversé dont la base s'appuyait sur la nue. La partie inférieure du cône, qui descendait sur la terre, forma bientôt, en tournoyant avec une vitesse considérable, une masse oblongue de 30 pieds environ, détachée du nuage.

Elle s'éleva en faisant le bruit d'une *bombe* de gros calibre *qui éclate*, laissant sur la terre un enfoncement en forme de bassin circulaire de 20 à 25 pieds de circonférence, et de 3 à 4 pieds de profondeur à son milieu. A peine éloigné de cent pas du point de son départ, en dirigeant sa route de l'ouest à l'est, la trombe franchit la haie d'un manoir, y abat une grange, et donne à la maison, plus solidement bâtie, une secousse que le fermier a comparée à celle d'un tremblement de terre. Elle avait, en franchissant la haie, déchiré et emporté la couronne des arbres les plus forts; vingt-cinq à trente arbres étaient renversés et couchés en sens divers, de manière à prouver que la trombe faisait son chemin en tournoyant. D'autres furent enlevés et accrochés, ainsi que plusieurs couronnes, au sommet des plus grands arbres (de 60 à 70 pieds de haut).

Après ces premiers effets, la trombe parcourut une distance de deux lieues sans toucher à terre, en emportant de très-grosses branches d'arbre, qu'elle vomissait à droite et à gauche avec bruit; arrivée à la pointe d'un bois, elle y arracha de nouveau la tête de plusieurs chênes, que l'on vit passer avec elle au-dessus du village de Vendôme, situé au pied de la colline du côté est de la forêt.

Il sortait de temps en temps de son centre, des globes de vapeurs soufrées; les uns et les autres rejetaient, dans divers sens, des branches que le météore avait entraînées de très-loin.

Le bruit qu'il faisait dans sa marche rapide était semblable à celui d'une voiture

pesante courant au galop sur un chemin pavé. On entendait une explosion semblable à celle d'un fusil à chaque sortie d'un globe de feu ou de vapeur; le vent, qui était impétueux, joignait à ce bruit un sifflement terrible. Après avoir déchiré la terre et emporté tout ce qui lui résistait, la trombe s'élevait au-dessus du sol pour aller à une lieue et deux lieues de distance recommencer ses ravages.

De là elle pénétra dans la vallée de Witernestre et Lambre. Le premier de ces villages, composé de quarante habitations, n'en conserva que huit intactes. Trente-deux maisons, avec leurs granges, furent renversées, et une énorme quantité d'arbres abattus, déchirés et emportés à une grande distance. On remarqua à Witernestre que les pignons et les murs des maisons furent couchés d'une manière divergente, de dedans en dehors.

Le désastre ne fut pas moins considérable à Lambre. Plusieurs personnes distinguèrent parfaitement la marche tournoyante du météore, sa couleur d'un brun soufré, et le centre de feu ardent d'où sortaient des éclats de vapeurs bitumineuses. Les arbres qui entouraient l'église furent cassés et déracinés; le mur et le toit de la maison du curé enlevé, et dix-huit maisons, la plupart bâties en briques, sapées à leur fondation, avec le phénomène extraordinaire de l'écartement des murs en dehors.

Voici maintenant une autre trombe non moins bizarre :

Le 26 août 1823, à trois heures de l'après-midi, après un temps calme et très-chaud, une trombe se manifesta auprès de la commune de Rouvier (Eure-et-Loir). Elle fut précédée par une nuée noire, venant du S. O., qui fut suivie par d'autres moins noires, jaunes et d'autres couleurs, dans lesquelles le tonnerre ne discontinuait pas, et qui lança de la grêle. Paraissant adhérer par le haut à la nue, en même temps que sa base touchait à la terre, elle renversa ou brisa tout ce qui se trouva sur son passage, enlevant la terre, les arbres et autres corps, qu'elle rejeta autour d'elle à de grandes distances. Le tourbillon était d'une couleur jaune noirâtre, due, sans doute, à la poussière et aux autres corps qu'il enlevait. Les feuilles des haies et des arbres qui n'ont point été enlevés et qui se sont trouvés sur son passage ont été desséchées comme si elles avaient été brûlées. — Dans le hameau de Marchefroid, où son effet a duré moins d'une minute, elle a détruit cinquante-trois habitations; les habitants ont à peine entendu l'orage, et il n'y est tombé que très-peu de grêle. Elle y a tué subitement un enfant de trois ans près de sa mère; on a remarqué sur son cou une blessure en forme de trou; mais on n'a pas su par quel corps elle avait été faite. — Dans la vallée de Saint-Ouen, le météore a arraché ou brisé 800 pieds de beaux arbres, puis s'est dirigé jusqu'à Ver, près de Mantes, dans un espace de cinq lieues environ, sur 40 à 50 toises de large : des maisons ont été entièrement rasées et écroulées; des combles entiers ont été enlevés de dessus leurs murs. Dans le sens et à contre sens de la ligne suivie par la trombe, des branches d'arbres ont été brisées en sens opposés. Des arbres arrachés, et tête, tronc et racines transportés à plus de 1000 mètres, et arrêtés par d'autres arbres restés debout; d'autres, dans la vallée, ont été rompus à 4, 6, 10, 15 et 20 pieds de hauteur, ce qui ferait penser que dans cette petite vallée la trombe n'exerçait pas ses ravages jusqu'à terre.

Une de ces destructions a été bien régulière. Les quatre murs d'un jardin, solidement bâtis en pierre, ont été entièrement renversés chacun dans leur sens en dehors du jardin, dans une ligne droite, et comme si les pierres avaient été rangées pour la construction du mur. Une voiture attelée de trois chevaux et chargée de grains a été enlevée de dessus ses roues et son essieu, qui sont restés à terre, et a passé par-dessus un bâtiment, dont elle a crevé le toit. Les lambeaux de la voiture ont été retrouvés en partie de l'autre côté du bâtiment. Le grain a disparu. Les chevaux, sans éprouver aucun mal, furent entièrement désenharnachés.



Fig. 175. — Trombe terrestre.

L'exemple suivant n'est pas moins curieux.

Le 26 août 1826, on voit l'arrondissement de Carcassonne traversé par une énorme colonne de feu qui, rasant le champ, déracina tout sur son passage. Un jeune homme de dix-neuf ans, se trouvant dans la direction de ce météore, fut tourbillonné, enlevé dans les airs, et eut la tête fendue sur un rocher. Quatorze moutons furent enlevés et tombèrent asphyxiés. Cette colonne d'air et de feu renversa des murs, déplaça d'énormes rochers, déracina les plus grands arbres, pénétra dans un château par deux issues, souleva et renversa les pierres de taille de la porte cochère, brisa la porte, en tordit toutes les pentures, fracassa une fenêtre, pénétra dans le salon, se fit jour à travers le plafond, perça le second étage, s'élança vers le toit, et fit écrouler ces trois appartements avec un fracas terrible. Des dames qui se trouvaient dans le salon virent le globe de feu y pénétrer, et ne durent leur salut qu'à une énorme poutre qui fit voûte et retint la boiserie. Une trombe d'air, pénétrant par la croisée au-dessus de la cuisine, renversa une cloison, souleva le plancher, brisa les meubles, bouleversa les lits, ouvrit les armoires sans rien déranger, perça un gros mur et en jeta les débris à une très-grande distance, brisa les combles du château, déracina et souleva un énorme chêne vert de cinq pieds de circonférence, écrasa deux maisons, emporta des charrettes, se précipita dans le ravin, déracina plusieurs noyers énormes et ravagea les vignes en bouleversant le terrain ; l'air était imprégné d'une forte odeur de soufre.

Parmi les trombes qui ont laissé les plus dramatiques souvenirs, nous devons citer celle de Monville, du 19 août 1845. Tout le monde connaît cette ravissante vallée de Maromme à Malaunay et Clères, qui décore de si charmants paysages le chemin de fer de Rouen à Dieppe. Au jour fatal que nous venons d'inscrire, à une heure de l'après-midi, par un temps chaud et accablant, un tourbillon d'une nature étrange vint fondre subitement sur la vallée. Les grandes filatures de Monville furent enveloppées soudain, secouées, tordues et renversées, en moins de temps qu'il n'en fallut pour se reconnaître, d'après ce que me racontait encore ces jours derniers l'un des témoins oculaires, qui habite maintenant le Havre. La fabrique dans laquelle travaillaient des centaines d'ouvrières s'effondra au milieu d'une tempête électrique soudaine, et ces malheureuses furent ensevelies sous les décombres. Un certain nombre ne furent pas écrasées immédiatement. Protégées par le hasard, elles se trouvaient comme emboîtées, et se communi-

quaient mutuellement leurs impressions sans se voir ni reconnaître à quel cataclysme elles devaient leur changement d'état. La plupart étaient convaincues que c'était la fin du monde, et s'attendaient au jugement dernier.

Des ouvriers furent lancés au dehors par-dessus des haies et des clôtures; d'autres furent écharpés par les métiers à vapeur qui continuaient à tourner au milieu de la catastrophe. Quelques-uns, sans être atteints, subirent une telle commotion de frayeur, qu'ils moururent huit jours après, subitement, sans maladie! Des murs, des chambres entières furent retournés, de telle sorte qu'on ne les reconnaissait plus. Sur d'autres points, les bâtiments furent comme pulvérisés et la place absolument nettoyée. Des solives, des planches mesurant jusqu'à 1 mètre de long sur 12 centimètres de large et plus de 1 d'épaisseur, des archives, des papiers, furent soulevés et emportés jusqu'à 25 et 38 kilomètres de là! jusque près de Dieppe. Les arbres situés sur le passage du météore furent couchés à terre, quelle qu'ait été leur grosseur, et presque partout réduits en lattes et desséchés. La bande ravagée s'étendit sur 15 kilomètres; sa largeur alla en grandissant, depuis 100 mètres vers la Seine, sous Canteleu, jusqu'à 300 mètres vers Monville, et en décroissant jusqu'à 60 mètres vers Clères. Le baromètre était subitement tombé de 760 à 705 millimètres.

Cette brusque dilatation de l'air n'a pu se produire qu'en troublant profondément l'équilibre de l'Atmosphère dans le voisinage de ces régions. Un habitant du Havre me racontait dernièrement que le jour de la catastrophe, avant midi, il a vu très-distinctement un navire se débattre contre la tempête, à trois lieues à peine du rivage, quoique au Havre même la mer fût relativement calme.

La catastrophe de Monville reste dans les souvenirs de la Normandie au même titre que ceux des plus funestes naufrages. Fort heureusement, les trombes n'atteignent pas souvent de pareilles proportions, ou n'arrivent pas précisément en ces points habités où le travail rassemble des multitudes humaines et concentre en quelque sorte le maximum des effets de destruction. Plusieurs, non moins énergiques peut-être, n'ont pas trouvé un pareil aliment à dévorer. — Celle qui bouleversa les environs de Trèves, en 1829, avait la forme d'une cheminée sortant d'un nuage et vomissant des jets de flammes et de vapeurs. Bientôt elle sembla pareille à un serpent, ondula au-dessus de la campagne, et traça un sillon de dix à dix-huit pas de large, sur une longueur de deux mille cent pas, hachant même les herbes, épis, plantes, légumes, qui



Fig. 176. — Trombe marine.

tapissaient le sol. Mais il n'y eut ni destruction d'habitations, ni mort d'hommes. — Celle qui ravagea Chatenay (Seine-et-Oise), le 18 juin 1839, grilla les arbres qui se trouvèrent sur sa circonférence, et renversa ceux qui se trouvèrent sur son passage même;



Fig. 177. — Trombes de sable.

les premiers même furent si singulièrement grillés, que leurs branches et leurs feuilles tournées du côté du météore étaient tout à fait desséchées et roussies, tandis que les autres restèrent vertes et vivantes. Des milliers d'arbres de haute futaie furent renversés

et couchés dans le même sens, comme des gerbes de blé. Un pommier fut transporté à deux cents mètres de distance, sur un monceau de chênes et d'ormes. Les maisons furent bouleversées dans l'intérieur, sans être renversées pour cela. Plusieurs toits firent l'office de cerfs-volants. Un mur de clôture fut partagé en cinq portions presque égales de sept à huit mètres chacune : la première, la troisième et la cinquième furent renversées dans un sens; la seconde et la quatrième en sens opposé! Plusieurs rangs d'ardoises eurent leurs clous arrachés, sans qu'elles eussent été enlevées pour cela, et comme si elles avaient été replacées par la main du couvreur.... Dans une trombe qui sévit sur le village d'Aubepierre (Haute-Marne), le 30 avril, le toit du lavoir a eu ses tuiles *exactement* retroussées, tous les rangs sens dessus dessous.

Dans les régions sablonneuses des déserts d'Afrique et d'Asie, le voyageur rencontre parfois des *trombes de sable* gigantesques qui s'élèvent de la terre aux nues, et se tordent avec des convulsions et des sifflements de serpents. C'est ce curieux phénomène que représente notre dessin précédent, d'après le voyage aux frontières russo-chinoises de Th. W. Atkinson.

Les trombes qui se manifestent sur la mer, les lacs, les rivières, et qu'on désigne sous le nom de *trombes d'eau*, ne diffèrent des trombes d'air que par leur situation. Au lieu de poussières, de feuilles, d'objets solides attirés par la colonne tourbillonnante, c'est de l'eau, ordinairement à l'état de vapeur très-condensée, quelquefois aussi à l'état liquide, qui se mêle à l'air de la trombe. Peltier rapporte un grand nombre d'exemples observés sous toutes les latitudes. Je n'en vois aucun qui ait englouti des navires, ou du moins qui l'ait fait en laissant un témoin. Ordinairement, on coupe à coups de canon la base de la colonne menaçante. Un jour cependant, le 29 octobre 1832, je vois sur la mer d'Ionie un navire pris par une trombe qui le fait basculer de la poupe à la proue, tantôt l'enfonce, tantôt l'enlève, le fait pirouetter rapidement et l'inonde d'eau, au grand effroi des passagers, qui attendaient la fin « comme quelqu'un qui du fond d'un puits en regarde le haut. »

Le nuage attiré peut s'approcher assez près de la terre pour soulever des masses d'eau avec les corps qu'ils contiennent; les plus gros tomberont isolément en raison de leur pesanteur, mais les plus petits seront transportés plus loin et relâchés en masse. C'est par ce moyen qu'ont lieu les pluies de petites grenouilles et de petits poissons, dont nous parlerons au chap. VI du Livre suivant.

LIVRE CINQUIÈME

L'EAU

LES NUAGES. — LES PLUIES

CHAPITRE I.

L'EAU A LA SURFACE DE LA TERRE ET DANS L'ATMOSPHÈRE.

LA MER. — LES FLEUVES. — VOLUME ET POIDS DE L'EAU QUI EXISTE SUR LA TERRE. — CIRCULATION PERPÉTUELLE. — LA VAPEUR D'EAU DANS L'ATMOSPHÈRE. — SES VARIATIONS SUIVANT LA HAUTEUR, SUIVANT LES LIEUX, SUIVANT LE TEMPS. — HYGROMÈTRE. — LA ROSÉE. — LA GELÉE BLANCHE.

Le globe autour duquel nous sommes fixés par l'attraction mesure 3183 lieues de diamètre, c'est-à-dire 10000 lieues de circonférence. C'est une sphère dont le volume cubique est de mille milliards de kilomètres cubes environ (1 083 000 000 000). Si c'était de l'eau, il pèserait mille milliards de milliards de kilog., puisque l'eau pèse 1 kilog. le litre ou décimètre cube, 1000 kilog. le mètre cube, mille milliards de kilog. le kilomètre cube. Mais comme la terre pèse plus de cinq fois plus que l'eau (5,44), le poids du globe terrestre est de 5875 sextillions de kilog. L'Atmosphère qui enveloppe notre planète pèse, avons-nous dit, 5263 quatrillions de kilog. : ce n'est pas tout à fait la millionième partie du poids de la Terre entière (la 1116000e). Son volume, à la densité de la surface du sol, formerait une masse de 4072 quatrillions de mètres cubes. L'eau occupe dans le système terrestre une place de même importance que l'air. La profondeur moyenne des océans est de 4 kilomètres environ, malgré les irrégularités du fond, dont les rives, les plateaux, les montagnes et les vallées font varier le niveau depuis quelques mètres jusqu'à 10 kilomètres. Cette pro-

fondeur moyenne donne pour le volume des eaux 3200 quatrillions de mètres cubes. Il faudrait 40000 ans à tous les fleuves du monde pour remplir l'océan s'il était mis à sec.

Réunie en une seule goutte, cette eau des mers formerait une sphère de 60 lieues de diamètre. Répandue sur toute la surface sphérique du globe, si cette surface était parfaitement unie, elle la submergerait sur une épaisseur de 200 mètres. La densité de l'eau de mer, un peu plus lourde que celle de l'eau douce, est égale à celle du lait de femme ; sa masse entière formerait un poids de 3289 quintillions de kilog. : c'est la 1786e partie du poids de la Terre.

La plus grande profondeur de l'océan ne dépasse pas 10 kilomètres, et la portion respirable de l'Atmosphère s'étend à peine à 10 kilomètres également. C'est dans cette zone mince de 20 kilomètres, ou 5 lieues d'épaisseur, que s'accomplissent tous les phénomènes de la vie, depuis les forêts sous-marines et les animaux étranges qui habitent les noires profondeurs, jusqu'aux plantes de la surface habitée par l'homme, jusqu'aux espèces animales si diverses qui respirent à ciel ouvert, jusqu'au condor qui dépasse les plus hautes neiges éternelles. Cette zone de vie est bien mince devant l'épaisseur de la Terre, qui devient elle-même si microscopique lorsqu'on la compare au système planétaire.

Pour nous rendre compte de cette mince épaisseur, nous pouvons considérer une coupe équatoriale du globe. En exagérant même les sinuosités de 50 fois, on voit (fig. 178) que l'écorce terrestre est presque exactement représentée par un cercle. Les continents et les îles ne sont que les sommets des plateaux et des montagnes dont le pied est submergé. L'atmosphère respirable serait représentée avec la même exagération par une couche sous-marine de 2 millimètres d'épaisseur.

Cette eau couvre à peu près les trois quarts de la Terre, dans l'état qui correspond à la température moyenne de la surface, c'est-à-dire à l'état *liquide*. Ses courants constituent, comme nous l'avons vu, la grande circulation artérielle de la planète. Non contente de dominer ainsi dans son état ordinaire, elle règne, à l'état *solide*, jusqu'aux régions silencieuses des pôles et sur le front glacé des montagnes inaccessibles ; et, à l'état *gazeux*, elle règne en souveraine plus absolue encore dans l'Atmosphère, dont elle régit la vie, et dans laquelle elle répand tour à tour l'abondance et la stérilité, la joie des beaux jours ou la tristesse des sombres cieux.

Cette eau n'est immobile ni dans la profondeur du bassin océanique, ni dans les glaces solides, ni dans l'Atmosphère. Grâce à l'appel toujours actif du soleil, grâce aux courants aériens, l'eau s'élève verticalement du fond de la mer à son niveau, se vaporise à toutes les températures, monte en vapeur invisible à travers l'océan aérien, se condense en nuages, voyage au-dessus des continents, descend en pluie, filtre à travers la surface du sol, glisse sur les couches d'argile imperméable, sort en source à l'affleurement, descend par le ruisseau dans la rivière, et tombe dans le

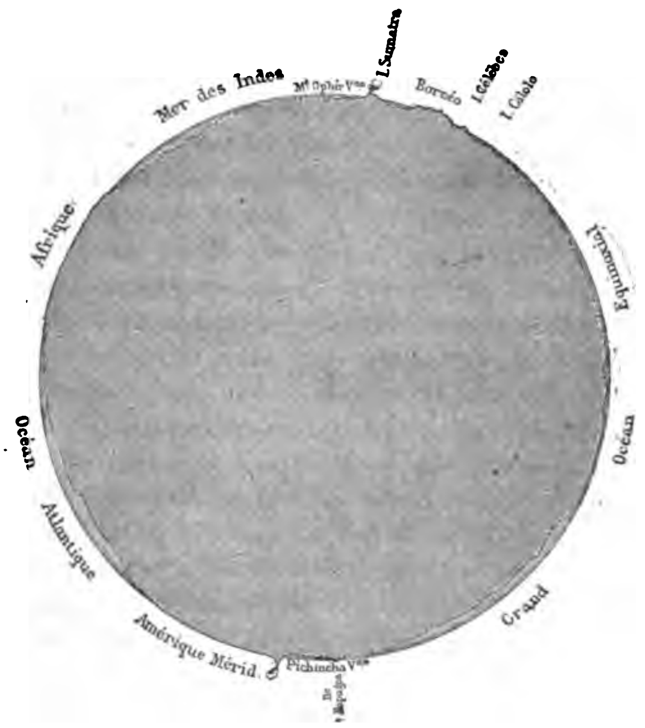


Fig. 178. — Coupe équatoriale de la terre.

fleuve qui la reporte à la mer. Cette goutte d'eau en apparence insignifiante que nous versons de la carafe dans notre verre, elle a fait bien des voyages depuis qu'elle existe : elle a déjà été bue bien des fois sans doute, car rien ne se perd comme rien ne se crée ; elle a mouillé le bec rapide de l'hirondelle qui glisse en courbe gracieuse au-dessus de la surface de l'onde ; elle a gémi dans la tempête au milieu des fureurs de l'ouragan ; elle a brillé dans l'arc-en-ciel ; elle a rafraîchi le sein de la rose matinale ; elle a été portée au sommet des airs dans les cirrus de glace qui domi-

nent l'aérostat le plus téméraire; elle s'est reposée dans le lit des neiges éternelles, et par les transitions de la pluie, du brouillard, de l'orage, du cours d'eau, elle est arrivée des antipodes sur notre table. Quelle circulation indescriptible que celle de l'eau dans l'immense organisme de la planète!

La goutte de pluie qui tombe sur le sol pénètre plus ou moins profondément, suivant la nature du terrain et son état de sécheresse; les premières gouttes d'une pluie d'orage sur un terrain nu et brûlant ne pénètrent même pas du tout, et se vaporisent aussitôt; mais en général nous pouvons suivre la goutte d'eau descendant obliquement suivant les pentes. On appelle *bassin*, un ensemble de pentes qui aboutit à une ligne de plus grande profondeur, fleuve dans lequel arrivent toutes les eaux tombées sur la surface de cet ensemble. Entre les bassins il y a les crêtes, ou lignes de partage : deux gouttes d'eau voisines tombant sur un point de ces lignes de faîte descendront l'une dans un bassin, l'autre dans un autre, elles retourneront au grand collecteur par des chemins bien différents. Trois gouttes d'eau voisines tombant, par exemple, sur un point du plateau de Langres, près de Montigny-le-Roi, descendront, l'une par la Marne dans le bassin de la Seine, la Manche et l'océan Atlantique, l'autre par la Meuse dans le bassin du Rhin et dans la mer du Nord, la troisième par la Saône dans le bassin du Rhône et dans la Méditerranée.

Toute source, tout ruisseau, toute rivière, tout fleuve provient de la pluie. Les eaux minérales elles-mêmes ont la même origine, et leur chaleur n'est due qu'aux terrains profonds à travers lesquels les eaux météoriques ont été conduites; et puis elles montent ensuite par les interstices des roches pour revenir au niveau de leur réservoir primitif, comme dans le siphon. Le soleil en évaporant l'eau des mers y laisse le sel, qui n'est pas volatil. Voilà pourquoi l'eau de pluie est douce, et par conséquent celle des cours d'eau. Le sel reste constamment dans la mer, et sa quantité est telle qu'il pourrait couvrir la surface entière du globe sur une épaisseur de 10 mètres.

De même que la couleur bleue du ciel est due à la vapeur d'eau, nous l'avons vu, de même aussi la couleur de l'eau elle-même, prise en grand, est bleue; ses nuances descendent jusqu'au vert, suivant l'action de la lumière

Nous avons vu dès notre Livre I[er], p. 61 et 65, qu'en outre de l'oxygène et de l'azote, l'Atmosphère contient un autre élément fondamental : *la vapeur d'eau*. Nous avons vu dans notre

Livre III, p. 314, que cette vapeur d'eau est de *la plus haute importance dans la distribution des températures*, et que sa formation comme sa marche représente une *force formidable en action permanente dans la grande usine aérienne*. Enfin, dans notre Livre IV, p. 548 nous avons observé que l'air contient d'autant plus de vapeur, d'eau qu'il est plus chaud; qu'un refroidissement suffisant l'amène à son point de saturation, sans rien ajouter à la quantité de vapeur qu'il renferme, mais simplement en vertu du refroidissement. Pour connaître la quantité de vapeur d'eau que renferme l'air à un moment donné, on pourrait donc, par exemple, refroidir un thermomètre suspendu dans l'air jusqu'au moment où il indiquerait le degré de saturation, c'est-à-dire jusqu'au moment où sa boule serait recouverte de vapeur condensée, de rosée. En cherchant de suite dans une table quelle quantité de vapeur d'eau correspond à ce degré thermométrique de saturation, on obtient la quantité réelle qui est en suspension dans l'air au moment de l'expérience. Cette méthode, inventée par Dalton et perfectionnée par Daniell, est toutefois un peu compliquée.

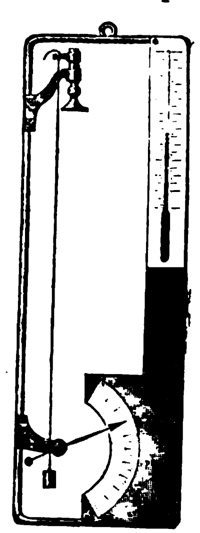


Fig. 179.
Hygromètre à cheveu.

Les instruments destinés à mesurer l'humidité de l'air ont reçu le nom d'*hygromètres* (ὑγρός, humide, μετρον, mesure). Le plus simple est celui qui a été inventé par Saussure, et qui porte son nom. Les cheveux s'allongent en raison de l'humidité. La variation n'est pas apparente à l'œil nu; mais, en attachant l'une des extrémités du cheveu à la petite branche d'une aiguille, on peut faire décrire à la grande branche un arc de cercle dont les divisions sont assez sensibles pour montrer la proportion de l'humidité. On a noté 100 au point où l'aiguille s'arrête quand l'air est complétement saturé, et 0 à celui où elle reste fixe quand l'air a été absolument desséché. On a divisé l'espace en 100 parties égales, lesquelles ne correspondent pas exactement à la proportion d'humidité. Voici cette proportion, d'après Gay-Lussac :

1	dixième	22 degrés de l'hygr.	6	dixième	79 degrés de l'hygr.
2	—	29	7	—	85
3	—	53	8	—	90
4	—	64	9	—	95
5	—	72	10	—	100

Un thermomètre est fixé à la monture de l'appareil.

Malgré le soin avec lequel il est construit, cet hygromètre n'est pas aussi précis que l'appareil de Daniell et que celui dont nous allons parler. Les hygromètres populaires le sont encore beaucoup moins. Ils font plutôt *voir* l'humidité qu'ils ne la mesurent; c'est pourquoi on les nomme hygro*scopes*. Chacun connaît les moines dont le capuchon s'abaisse quand le temps est humide. Une corde à boyau fixée au bonhomme se termine vers la charnière du capuchon mobile. L'humidité la rétrécit, et par ce fait elle tire plus ou moins le capuchon.



Fig. 180. — Hygroscope.

On se sert dans les observatoires d'un hygromètre dont la variation n'est plus causée par l'absorption, comme celui de Saussure, mais par l'évaporation, comme celui de Daniell. Cet hygromètre très-précis est dû à Leslie et a été perfectionné par August. Comme il se base sur le refroidissement d'un thermomètre, on lui a donné le nom de *Psychromètre* (ψυχρὸς, froid). Il est formé de deux thermomètres aussi identiques que possible placés à côté l'un de l'autre. La boule de l'un d'eux est enveloppée d'un linge mouillé, qui reste constamment humide par sa communication avec un verre d'eau. Le thermomètre humide est d'autant plus bas que l'évaporation du linge mouillé qui l'enveloppe est plus grande, et celle-ci est d'autant plus grande que l'air est plus sec. La différence de hauteur des deux thermomètres est donc intimement liée à la sécheresse de l'air, autrement dit, à la proportion d'humidité qu'il renferme. La formule algébrique qui exprime cette relation et permet de calculer l'état hygrométrique ne peut être analysée ici. Quoi qu'il en soit, cet appareil est encore le plus précis et le plus employé dans les observatoires.



Fig. 181. — Psychromètre.

Nous avons vu (p. 548) que l'air est presque à son état de saturation sur les mers, que sur les continents il est d'autant moins humide qu'il est plus éloigné des rivages, et qu'en certaines régions où l'évaporation est presque nulle il est d'une extrême sécheresse. L'état hygrométrique de l'Atmosphère n'est pas le même dans toute sa hauteur, comme la proportion d'oxygène et d'azote. En général, il augmente depuis la surface du sol jusqu'à une certaine hauteur, où l'on trouve une zone d'humidité maximum; puis décroît à mesure qu'on s'élève davantage, de telle sorte qu'en s'élevant à une hauteur assez grande on arriverait dans une région absolument dépourvue de vapeur d'eau, absolument sèche.

L'étude de la variation de l'humidité atmosphérique était inscrite au premier rang du programme de mes ascensions scientifiques. Voici le résultat des observations que j'ai faites par l'hygromètre à cheveu de Saussure, construit spécialement pour ces ascensions par M. Sécretan, opticien de l'Observatoire.

Dans dix séries d'observations spéciales représentant environ cinq cents positions différentes, la distribution de la vapeur d'eau dans les couches atmosphériques a suivi une règle constante que l'on peut énoncer en ces termes :

1° L'humidité de l'air s'accroît à partir de la surface du sol jusqu'à une certaine hauteur ; 2° elle atteint une zone où elle reste à son maximum ; 3° elle décroît à partir de cette zone et diminue constamment ensuite à mesure que l'on s'élève dans les régions supérieures.

Cette zone, à laquelle je donnerai le nom de *zone d'humidité maximum*, varie de hauteur suivant les heures, suivant les époques et suivant l'état du ciel.

Je ne l'ai trouvée qu'en de rares circonstances (principalement à l'aurore) voisine de la surface du sol.

Cette marche générale de l'humidité est constante, que le ciel soit pur ou couvert, et elle se manifeste dans les observations faites pendant la nuit aussi bien que dans les observations diurnes.

Les tableaux hygrométriques construits après chaque voyage montrent avec évidence la permanence de cette loi.

Il se présente des différences considérables relativement à la hauteur de la zone maximum et à la proportion de l'accroissement de l'humidité. Ainsi, le 10 juin 1867, à 4 heures du matin (vent N.E.), au lever du soleil et sur la lisière de la forêt de Fontainebleau, la zone maximum était à 150 mètres seulement de la surface du sol. L'hygromètre construit spécialement pour ces études marque 93 degrés au niveau du sol et s'élève rapidement jusqu'à 98, qu'il atteint à 150 mètres. A partir de là, il redescend désormais à mesure que l'aérostat s'élève, marquant 92 à 300 mètres, 86 à 750, 65 à 1100, 60 à 1350, 54 à 1700, 48 à 1900, 43 à 2200, 36 à 2400, 30 à 2600, 28 à 2900, 26 à 3000, 25 à 3300 mètres. L'atmosphère était d'une très-grande pureté et sans le moindre nuage.

Dans une autre ascension, le 15 juillet, à 5^h 40^m du matin (vent S. O.), descendant d'une altitude de 2400 mètres au-dessus du Rhin, sur Cologne, j'ai trouvé la zone maximum à 1100 mètres. Le ciel n'était pas entièrement pur. L'humidité relative de l'air était de 62 degrés à 2400 mètres, de 64 à 2200, de 75 à 2000, de 85 à 1800, de 90 à 1600, de 92 à 1550, de 95 à 1330, de 98 à 1100 mètres. C'est la zone maximum. Puis, à mesure que l'aérostat descend, l'humidité diminue. A

890 mètres elle est déjà descendue à 92 degrés, à 706 à 90, à 510 à 87, à 240 à 84, à 50 mètres du sol à 83, et à la surface à 82 degrés. Suivant la même descente, le thermomètre s'était élevé de 2 à 18 degrés centigrades.

Le 15 avril 1868, à 3 heures après midi (vent N.), parti du jardin du Conservatoire des Arts et Métiers, j'ai constaté une marche analogue dans la variation de l'humidité. Au départ, dans le jardin, l'hygromètre marque 73 degrés, s'élève à 74 à 776, donne 75 à 900, 76 à 1040, 77 à 1150. C'est la position de la zone maximum. L'humidité décroît ensuite progressivement et constamment ; elle est de 76 degrés à 1230 mètres, de 73 à 1345, de 71 à 1400, de 69 à 1450, de 67 à 1490, de 64 à 1545, de 62 à 1573, de 59 à 1608, de 56 degrés à 1650 mètres. A 2000 mètres l'humidité ambiante est descendue à 48 degrés, à 2400 mètres elle est de 36, à 3000 de 31, à 4000 mètres de 19 degrés.

Cette ascension a été faite par un ciel nuageux. Le maximum d'humidité était un peu au-dessous de la surface inférieure des nuages.

Le 23 juin 1867, à 5 heures du soir (vent N. N. E.), la zone maximum se trouvait à 555 mètres et également au-dessous des nuages.

Le 30 mai, à 4 heures du soir (vent N. N. O.), l'humidité croît de la surface du sol à 500 mètres et s'élève de 67 à 75 degrés.

Le résultat général montre donc que l'humidité augmente de la surface du sol jusqu'à une certaine hauteur variable, et décroît ensuite jusqu'aux plus grandes hauteurs. Je ne me crois pas encore en droit de préciser ces variations proportionnelles ; des causes complexes rendent les règles difficiles à dégager. Indépendamment de la hauteur, l'humidité de l'air varie selon l'heure, selon l'élévation du soleil sur l'horizon, selon l'état du ciel et parfois aussi selon la nature sèche ou humide des terrains au-dessus desquels passe l'aérostat. Mais la loi générale énoncée plus haut ne m'en parait pas moins pouvoir être adoptée comme une remarque constante. J'insiste d'autant plus fortement sur ce point, que la connaissance de la variation de l'humidité relative de l'air est regardée comme l'élément le plus important des bases météorologiques [1].

. . . .

Je ne me hasarderai pas à tracer un diagramme de cette variation de l'humidité suivant la hauteur, comme je l'ai fait pour la décroissance de la pression atmosphérique et de la température. Mes observations ne sont ni assez nombreuses ni assez précises. Celles de M. Glaisher, en Angleterre, sont beaucoup plus rigoureuses, et ont été faites avec tous les appareils hygrométriques comparés. Leur résultat montre que, comme forme générale, l'humidité s'accroît depuis la surface du sol jusque vers 1000 mètres, et décroît ensuite, avec des échancrures représentant des couches d'air humides variables de hauteur et de dimension. Voici du reste la courbe qu'il a tracée lui-même pour montrer cette variation de l'humidité atmosphérique par un ciel clair. Le ciel nuageux donne des irrégularités beaucoup plus considérables encore. On y voit que l'humidité, à 60° au niveau du sol, s'est élevée jusqu'à 72 vers 900 mètres, pour décroître ensuite à peu près constamment jusqu'à 6500 mètres, où elle n'est plus qu'à 16°.

1. Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1868, p. 1052.

Les observations faites sur les montagnes confirment l'accroissement observé d'abord suivant la hauteur. Kaemtz a constaté une moyenne de 84°,3 sur le Righi quand elle était de 74°,6 en bas, à Zurich. Bravais et Martins ont trouvé 75°,9 du sommet du Faulhorn et 63°,2 en même temps à Milan. Au-dessus de 1000 mètres l'humidité va en diminuant, malgré les accroissements particuliers dus de distance en distance à des courants superposés.

A la surface du sol, l'humidité relative de l'air varie suivant les heures du jour, en correspondance inverse avec la température.

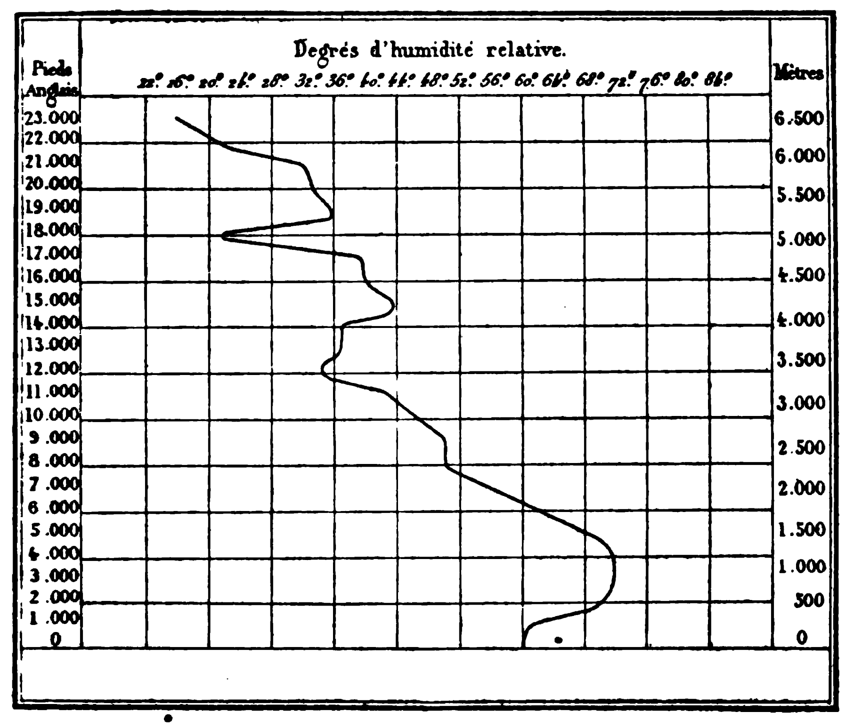


Fig. 182. — Variation de l'humidité de l'air selon la hauteur.

Plus l'air est chaud et plus il est sec; plus il est froid et moins il lui faut d'humidité pour le saturer. Dans nos régions tempérées on voit assez régulièrement l'état hygrométrique de l'air augmenter vers le lever du soleil, pendant le minimum de température, descendre ensuite jusque vers 2 heures après midi, au maximum de chaleur, et s'accroître de nouveau le soir et pendant la nuit. Cette variation diurne respectivement inverse de l'hygromètre et du thermomètre est bien facile à saisir par la figure suivante qui représente la moyenne d'une longue série d'observations faites par

Kaemtz à Halle. Ces courbes sont celles du mois de juillet, où le contraste est le mieux marqué.

Cet état hygrométrique de l'air, qui joue le premier rôle dans l'entretien de la vie à la surface de la planète, varie semblablement suivant les saisons. Vingt ans d'obsarvations quotidiennes (1843-

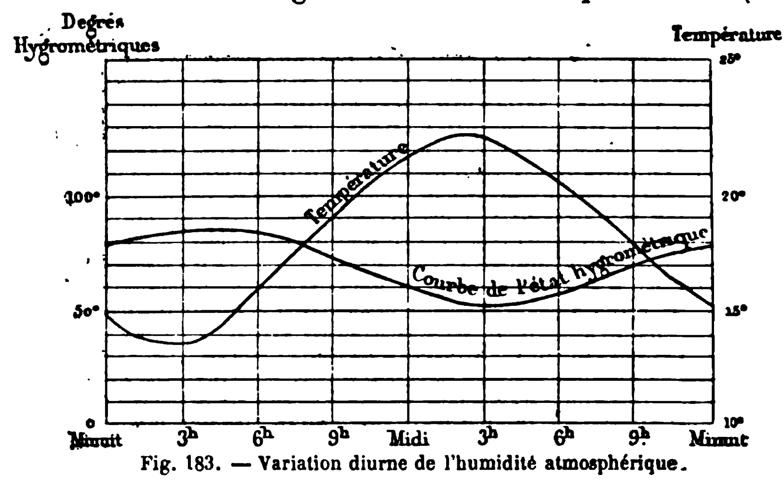


Fig. 183. — Variation diurne de l'humidité atmosphérique.

1863) à Bruxelles, par l'hygromètre de Saussure et le psychomètre d'August, ont donné à M. Quételet pour la moyenne de midi, discutée d'après ce dernier appareil, la série de nombres suivants :

Janvier..........	87°3	Juillet...........	66°8
Février...........	83 5	Août..............	68 3
Mars.............	73 5	Septembre........	73 7
Avril.............	65 9	Octobre...........	80 4
Mai..............	64 8	Novembre.........	85 2
Juin..............	64 2	Décembre.........	89 0

On voit que le maximum d'humidité relative arrive en décembre et le minimum en juin. La figure 184 est tracée en représentant 1 degré hygrométrique par 1 millimètre, au-dessus de la ligne de 60 degrés prise pour base.

Nov. Déc. Janv. Fév. Mars Avril Mai Juin Juil. Août Sept. Oct. Nov.

Fig. 184.
Variation mensuelle de l'humidité atmosphérique.

Cette humidité atmosphérique invisible, qui ne révèle sa présence que par les appareils délicats imaginés pour la mesurer, et qui, cependant, donne aux paysages toute leur valeur : — l'émeraude aux prairies de la verte Érin, l'azur au ciel de la

Méditerranée, la corpulente splendeur aux végétaux des tropiques, — cette humidité invisible, devient visible, aussitôt qu'un abaissement de température l'amène à son point de saturation. Si c'est l'air lui-même qui subit un refroidissement, il devient opaque par le passage de la vapeur à l'état liquide, et nous avons le brouillard. Si c'est un corps solide qui soit à ce degré de froid, l'humidité se condense à sa surface, et nous avons la rosée.

La *rosée* ne descend pas du ciel, comme on le dit encore dans les insignifiants petits livres de lecture des écoles primaires françaises. Sa production n'a rien de commun avec celle de la pluie. Elle *se forme* dans l'endroit même où on l'observe.

Si l'on place en plein air, dans une nuit calme et sereine, de petites masses d'herbe, de coton, d'édredon ou de toute autre substance filamenteuse, on trouve, après un certain temps, que leur température est de 6, de 7 et même de 8 degrés au-dessous de la température de l'atmosphère ambiante.

Dans les lieux où la lumière du soleil ne pénètre pas et d'où l'on découvre une grande étendue du ciel, cette différence entre la température de l'herbe, du coton, etc. et de l'Atmosphère commence à se faire sentir vers 3 ou 4 heures de l'après-midi, c'est-à-dire, dès que la température diminue; le matin, elle persiste plusieurs heures après le lever du soleil.

Les observations du physicien Wells, continuées par Arago, ont montré que dans une nuit sereine l'herbe d'un pré peut être de 6 à 7 degrés plus froide que l'air; si des nuages surviennent, aussitôt l'herbe se réchauffe de 5 à 6 degrés sans que la température de l'Atmosphère change pour cela.

Un thermomètre en contact avec un flocon de laine déposé sur une planche élevée de 1 mètre au-dessus du sol, marquait, par un temps calme et serein, 5 degrés de moins qu'un second thermomètre dont la boule touchait un flocon de laine tout pareil, mais qui se trouvait placé sous la face inférieure de la même planche.

Ce refroidissement est dû au rayonnement nocturne. Lorsqu'aucun obstacle ne s'oppose à ce que la chaleur d'un corps se disperse, il rayonne cette chaleur à distance et la perd petit à petit. L'air transparent ne suffit pas pour s'opposer à cette déperdition de chaleur. Un nuage, un écran de bois, de toile, de papier, ou même de fumée, suffiraient. Sans obstacles, le corps se refroidit selon son pouvoir rayonnant, qui diffère d'ailleurs suivant les corps (il est, par exemple, très-fort pour le verre et très-faible pour les métaux), et lorsque la température du corps ainsi exposé est

descendue au degré de saturation, l'humidité atmosphérique se dépose sur lui, revêtant d'abord la forme de gouttelettes sphéroïdales, car telle est la forme que prend tout ensemble de molécules livré à ses forces intimes de cohésion; puis lorsque ces gouttes sont assez lourdes et assez rapprochées, elles s'étendent comme une mince nappe d'eau à la surface du corps.



Fig. 185. — Gouttes de rosée.

La rosée n'est abondante que pendant les nuits calmes et sereines. On en aperçoit quelques traces dans des nuits couvertes, s'il ne fait pas de vent, ou malgré le vent si le temps est clair, mais il ne s'en forme jamais sous les influences réunies du vent et d'un ciel couvert.

Les circonstances favorables à une précipitation abondante de rosée se rencontrent plus généralement réunies au printemps, et surtout en automne, qu'en été. Il faut se rappeler un fait qui doit être lié au précédent, à savoir que les différences entre les températures du jour et celles de la nuit ne sont jamais plus grandes qu'au printemps et en automne.

Les phénomènes de la précipitation de la rosée sur un corps dense et poli, sur une plaque de verre, par exemple, ressemblent parfaitement à ceux qu'on observe lorsqu'une vitre est exposée à un courant de vapeur d'eau plus chaude qu'elle : une couche légère et uniforme d'humidité ternit d'abord la surface; il se forme ensuite des gouttelettes irrégulières et aplaties qui se réunissent après avoir acquis un certain volume et ruissellent alors dans toutes sortes de directions.

C'est ce qu'on voit tous les jours lorsqu'on apporte dans une chambre échauffée des objets refroidis dans une pièce voisine où règne un froid vif : on voit tous ces objets se couvrir d'humidité. C'est ainsi que les riches cristaux apportés au dessert sur une table servie dans une pièce dont l'air est plein de vapeur par l'évaporation des mets, la respiration des convives et la combustion des lumières de toute sorte, sont immédiatement ternis par une épaisse couche de rosée fournie par la vapeur invisible de l'air environnant. Souvent, en entrant dans une salle de spectacle, les verres des lunettes refroidis par l'air du dehors sont obscurcis par

un semblable dépôt d'humidité, qui est un véritable dépôt de rosée.

Par les froids d'hiver, si l'on ouvre une fenêtre dans la salle à manger où un certain nombre de personnes viennent de faire un long repas, un nuage se forme instantanément au passage de l'air froid, et le plafond se mouille d'une longue tache de vapeur condensée.

La rosée est un phénomène considérable, non-seulement par la quantité absolue qu'en reçoit un point du globe, mais encore par l'étendue des surfaces où elle se manifeste. C'est principalement dans les régions tropicales qu'elle exerce les effets les plus marqués et les plus favorables sur la végétation. Lorsque l'air, saturé de vapeur à la température de 30°, contient plus de 30 grammes d'eau par mètre cube, elle se dépose abondamment pendant la nuit; elle ruisselle des feuilles, et le matin, on voit parfois l'herbe aussi mouillée par la rosée qu'elle eût pu l'être par la pluie.

On constate le plus ou moins d'abondance de la rosée, mais on ne saurait la mesurer, parce qu'elle ne tombe pas comme la pluie. Son apparition dépend du pouvoir rayonnant du corps qu'elle mouille, car elle ne se dépose que sur les substances plus froides que l'air ambiant, et en quantité d'autant plus forte, que la différence de température est plus prononcée.

Les terres labourées, les jachères, les cultures, les forêts, les roches, le sable, manifesteront des quantités très-variables de rosée. Il y a plus : les feuilles n'ont pas dans toutes les plantes une égale faculté émissive; la rapidité, l'intensité de leur refroidissement, le dépôt de rosée qui en est la conséquence, sont liés à la distance où elles se trouvent du sol, à la couleur plus ou moins foncée, au poli ou à la rugosité de leur épiderme. La rosée dégoutte des feuilles d'une plantation de betteraves, lorsque dans un champ voisin les fanes de la pomme de terre sont à peine humides.

M. Boussingault a essayé de mesurer ces quantités de rosée.

Après certaines nuits de rosée abondante, il se rendit dans les prairies des bords de la Saüer avant le lever du soleil. Là, avec une éponge, on essuyait l'herbe sur une surface de 4 mètres carrés. L'eau était mise dans un flacon et pesée.

La rosée prise sur 4 mètres carrés dépassa parfois le poids de 1 kilogramme.

En moyenne, la rosée recueillie sur la prairie représenterait une pluie de 0 mill. 14, équivalant à 1400 litres d'eau tombant sur une surface d'un hectare, volume trop faible, sans doute, pour remplacer l'arrosement, mais qui n'en est pas moins très-utile sur

les prés comme sur les cultures, en atténuant les mauvais effets causés par des sécheresses prolongées.

La rosée et le brouillard renferment à peu près les mêmes proportions d'ammoniaque et d'acide nitrique; l'un et l'autre ont d'ailleurs, au même point de vue, la plus grande analogie avec la pluie quand elle commence à tomber, quand elle est en quelque sorte le premier lavage de l'air. C'est effectivement dans cette eau tombée la première, surtout après une longue sécheresse, qu'il y a le plus d'acide carbonique, de carbonate et de nitrate d'ammoniaque, de ces matières organiques, de ces poussières de toute nature, immondices de l'Atmosphère. Si un jour on entreprend une étude suivie des substances que l'air ne renferme qu'en infiniment petites quantités, c'est dans le brouillard, dans la rosée, dans les premières gouttes de pluie, dans les premiers flocons de neige, dans la grêle qu'il conviendra d'aller les chercher. C'est en un mot dans les météores aqueux qu'on les rencontrera réunies et concentrées.

La gelée blanche, qui est si funeste aux végétaux dans les matinées de printemps, et qui a donné une si mauvaise réputation à la lune rousse, n'est autre chose que la rosée, gelée par la cause même qui l'a formée : la radiation nocturne.

N'y a-t-il pas un moyen de préserver de son action destructive les cultures trop étendues pour être abritées par des écrans? Ce moyen existe; il consiste à troubler la transparence de l'air, et les Indiens, de temps immémorial, l'ont appliqué avec le plus grand succès.

M. Boussingault nous a appris que les indigènes du haut Pérou, exposés à voir leurs récoltes détruites par l'effet de la radiation nocturne, avaient l'habitude, lorsque la nuit s'annonçait de manière à la faire craindre, c'est-à-dire quand les étoiles brillent d'un vif éclat et que l'air n'est pas agité, de mettre le feu à des tas de paille humide, à du fumier, afin de produire de la fumée pour troubler la transparence de l'air.

Les heureux effets de la fumée, pour prévenir la congélation nocturne, ont été aussi signalés par Pline : « La pleine lune, dit-il, n'est nuisible que lorsque le temps est serein et l'air parfaitement calme; car avec des nuages ou du vent, la rosée ne tombe pas. Encore est-il des remèdes contre ces influences. Quand vous avez des craintes, brûlez des sarments ou des tas de paille, ou des herbes, ou des broussailles arrachées : la fumée sera un préservatif.... La constellation que nous avons nommée canicule décide du sort des raisins. On dit alors que la vigne charbonne, brûlée par la maladie comme par un charbon. »

Le moyen de soustraire les cultures aux effets désastreux d'un abaissement trop rapide de la température, en troublant la diaphanéité d'une atmosphère stagnante, a été pratiqué dans l'ancien comme dans le nouveau monde.

La conquête renversa naturellement le culte des Incas. Il n'était plus permis aux Indiens de conjurer les effets pernicieux du froid nocturne en offrant des sacrifices à leurs divinités; on cessa d'allumer des feux dans les champs, ce que l'on consi-

dérait sans doute comme une idolâtrie, tant on était éloigné des admirables expériences de Wells. On pria cependant, pour détourner une calamité sans cesse menaçante; mais les prières sans la fumée n'ont pas toujours été efficaces.

En Europe, une des causes qui ont contribué à faire renoncer à prendre, dans l'intérêt des cultures, une précaution dont les excellents résultats ne sauraient être révoqués en doute, c'est la difficulté d'être toujours prêt à la prendre à temps. La gelée par radiation nocturne est un phénomène instantané, et l'on n'a pas constamment à sa portée le combustible nécessaire, surtout un combustible convenable, brûlant lentement en fumant beaucoup. Un vigneron d'ailleurs ne se décidera pas volontiers à sacrifier le fumier dont il n'a jamais trop, et lorsqu'il s'agira de l'allumer, il montrera toute l'apathie d'un Indien. Les feux de paille humide peuvent être assez dispendieux, et, s'ils venaient à prendre une certaine intensité, ils présenteraient le double inconvénient d'être aussi dangereux qu'inutiles, car il ne s'agit pas de faire de la flamme.

Quelles sont les matières à très-bas prix répandant le plus de fumée? cette question, M. Boussingault l'a posée à l'Académie des sciences. Le résultat de la discussion a été que l'on devrait employer, comme combustibles capables de troubler en brûlant, une grande masse d'air, le goudron de houille, la naphtaline, la résine, les bitumes, la tourbe. Ces substances ont une très-faible valeur; avec les matières bitumeuses, avec les résines, on pourrait en former soit des torches, soit des lampions, dont quelques-uns suffiraient certainement pour troubler la transparence d'une couche d'air reposant sur un hectare de terrain. La naphtaline, substance blanche, solide, cristalline, comparable à la cire, dont on ne sait que faire, précisément parce qu'elle fume trop quand elle brûle, aurait sur les goudrons la qualité très-appréciable d'un transport facile et celle de ne pas salir ce qui serait en contact avec elle.

L'intervention de la fumée pour prévenir la radiation nocturne n'est justifiée qu'autant que le ciel est découvert et l'atmosphère dans un calme parfait; la précaution n'exige donc qu'une dépense minime, très-peu de fumée troublant dans ce cas une énorme masse d'air nocturne, si le ciel était pur et l'atmosphère calme.

En 1771, A. Wilson, ayant suivi la marche d'un thermomètre pendant une nuit d'hiver qui fut successivement, à plusieurs reprises, claire et brumeuse, trouva qu'il montait constamment d'environ un demi-degré dans l'instant même où l'Atmosphère s'obscurcissait, et qu'il revenait au point de départ lorsque les brumes étaient dissipées. Suivant le fils du même physicien, Patrick Wilson, l'effet instantané des nuages sur un thermomètre suspendu à l'air libre peut s'élever à 1°,7. Tel est aussi, à très-peu près, le résultat obtenu par Pictet, en 1777, et publié pour la première fois en 1792.

Une circonstance curieuse, dont on doit la découverte à Pictet, c'est que, dans des nuits calmes et sereines, la température de l'air, au lieu d'aller en diminuant à mesure qu'on s'éloigne du sol, présente, au contraire, au moins jusqu'à certaines hauteurs, une progression croissante. Un thermomètre, à $2^{m},50$ d'élévation, marquait toute la nuit 2°,5 centigrades de moins qu'un instrument tout pareil qui était suspendu au sommet d'un mât vertical de 17 mètres. Deux heures environ après le lever du Soleil, com-

me aussi deux heures avant son coucher, les deux instruments étaient d'accord ; vers midi, le thermomètre près du sol marquait souvent 2°,5 centigrades de plus que l'autre; par un temps complétement couvert, les deux instruments avaient la même marche le jour et la nuit.

Ces observations de Pictet ont été confirmées. Wells ayant fixé aux quatre coins d'un carré de 0m,60 quatre piquets minces qui s'élevaient chacun de 0m,15 perpendiculairement à la surface d'un pré, tendit horizontalement sur leurs sommets un mouchoir de batiste très-fin, et compara dans des nuits claires les températures du petit carré de gazon qui correspondait verticalement à cet écran léger avec celle des parties voisines qui étaient entièrement découvertes. Le gazon garanti du rayonnement par le mouchoir de batiste se trouva quelquefois de 6° centigrades plus chaudque l'autre; quand celui-ci était fortement gelé, la température du gazon privé de la vue du ciel par le même tissu qui le recouvrait à 0m,15 de distance, était encore de plusieurs degrés au-dessus de zéro. Dans un temps complétement couvert, un écran de batiste, de natte ou de toute autre nature produit à peine un effet appréciable.

A l'Observatoire de Greenwich M. Glaisher vient de constater, par trois années d'expériences suivies, que la température de l'air à 22 pieds de hauteur est plus haute qu'à 4 pieds à toutes les heures du jour et de la nuit pendant les mois de novembre, décembre, janvier et février; pendant la nuit et le soir aux mois de mai, juin et juillet; pendant la nuit et l'après-midi en mars, avril, août, septembre et octobre. A 50 pieds de hauteur, la température est également plus élevée pendant la nuit pendant toute l'année. Par un ciel couvert la température reste la même.

Au mois de juin 1871, l'attention a été rappelée à l'Académie des sciences sur ce sujet des gelées tardives, par M. Charles Sainte-Claire-Deville et M. Élie de Beaumont. Il s'agissait de la gelée du 18 mai, qui, le matin de l'Ascension, s'est étendue sur les vignobles et les cultures des environs de Paris et du centre de la France. Ayant eu moi-même une vigne gelée dans la Haute-Marne, j'ai montré par quelques comparaisons que cette gelée désastreuse s'est étendue aussi dans l'est et sur la moitié de la France à la même heure. Il serait certainement à désirer qu'on trouvât un moyen facile de garantir les cultures pendant la période critique qui suit la floraison : bien des pertes, souvent fort étendues, seraient ainsi évitées.

CHAPITRE II.

LES NUAGES.

CE QUE C'EST QU'UN NUAGE. MODE DE FORMATION. LE BROUILLARD.
OBSERVATIONS FAITES EN BALLON ET SUR LES MONTAGNES.
DIFFÉRENTES ESPÈCES DE NUAGES. LEURS FORMES. LEUR HAUTEUR.

La vapeur d'eau *invisible* répandue dans l'Atmosphère, dont nous venons d'étudier la distribution et les variations, devient *visible* lorsqu'un abaissement de température ou un surcroît d'humidité l'amène au point de saturation. Supposons, par exemple, qu'une certaine quantité d'air à 30 degrés contienne 31 grammes de vapeur d'eau; cet air est parfaitement transparent. Si par une cause quelconque cet air se rafraîchit à 25 degrés ou reçoit de l'humidité nouvelle, il se troublera et deviendra opaque. Cinq degrés de moins de chaleur lui enlèveront 7 grammes de vapeur d'eau qui, se condensant, devient visible. Voilà tout ce que c'est qu'un nuage : de la vapeur d'eau que l'air ne peut plus absorber quand il en est saturé, et qui s'en distingue en passant à l'état de petites vésicules.

Ce passage de l'état gazeux à l'état liquide peut s'opérer partout et à toutes les hauteurs. Lorsqu'il s'effectue au niveau du sol, on lui donne le nom de brouillard. Mais il n'y a pas de différence essentielle entre un nuage et un brouillard. Lorsqu'on traverse les nuages en ballon, comme cela m'est arrivé maintes fois, on n'éprouve aucune résistance, l'air est seulement plus ou moins opaque, plus ou moins froid, plus ou moins humide, variété que l'on rencontre également à la surface du sol suivant la diversité des

brouillards. Il en est de même lorsqu'on traverse les nuages sur les montagnes.

Quoiqu'il n'y ait pas de différence *essentielle* entre les brouillards et les nuages, il y en a cependant une de fait : c'est qu'un brouillard est un *lieu* dans lequel la vapeur d'eau passe de l'état visible à l'état invisible, tandis qu'un nuage est *un objet* individuel, un groupement de vapeurs visible suivant une forme déterminée. Le premier est *immobile*, le second est *mobile*.

Occupons-nous d'abord du brouillard.

Examiné à la loupe, le brouillard se compose de petits corps opaques. Une étude plus approfondie montre que ces petits corps sont composés d'eau obéissant aux lois de la gravitation universelle, les molécules d'eau se groupent sous forme de sphérules analogues à celles du mercure renversé. Ces sphérules sont-elles pleines ou creuses? telle est la question qui divise les météorologistes. L'opinion émise déjà par Halley, que ces sphérules sont creuses et que l'eau ne sert que d'enveloppe, paraît plus fondée que l'autre. Toutefois il est probable qu'elles sont entremêlées d'une grande quantité de gouttelettes d'eau.

Prenez une tasse remplie d'un liquide de couleur foncée, tel que du café ou de l'encre de Chine dissoute dans l'eau; chauffez-le et placez-le au soleil ou dans un lieu éclairé: si l'air est tranquille, la vapeur monte et disparaît bientôt; si on l'observe à la loupe, on voit s'élever des globules. Les plus petits traversent rapidement le champ du verre grossissant, les autres retombent à la surface du liquide. Saussure ajoute que les petites vésicules qui s'élèvent diffèrent tellement de celles qui retombent, qu'il est impossible de douter que les premières soient creuses.

La manière dont elles se comportent avec la lumière n'est pas moins favorable à cette opinion; elles n'offrent pas cette scintillation qu'on remarque sur les gouttelettes pleines exposées à une vive lumière.

Tout le monde a remarqué que les bulles de savon sont souvent ornées des plus belles couleurs. On observe aussi ces couleurs sur les bulles formées de substances visqueuses, et on peut les étudier avec d'autant plus de facilité qu'elles persistent plus longtemps. Ces couleurs proviennent de ce que les rayons incidents sont partagés en deux portions. Les uns sont réfléchis par la surface antérieure; d'autres la traversent, mais sont en partie réfléchis par la surface postérieure. L'enveloppe de la sphère doit être très-mince pour que ces apparences se produisent. Kratzenstein

ayant examiné au soleil et à travers un verre grossissant les vésicules qui s'élèvent de l'eau chaude a observé à leur surface des anneaux colorés semblables à ceux des bulles de savon; et non-seulement il s'est convaincu que leur structure était analogue à celle des bulles de savon, mais encore il a pu calculer l'épaisseur de leur enveloppe.

De Saussure et Kratzenstein ont essayé de mesurer sous le microscope le diamètre des vésicules qui composent la vapeur d'eau. Mais il est difficile d'arriver à un résultat positif; car ce sont les vésicules du brouillard et non pas celles qui s'élèvent de l'eau chaude qu'il s'agit de mesurer; heureusement quelques-uns des phénomènes optiques qui se produisent quand le soleil luit à travers des nuages ou des brouillards nous fournissent un moyen d'arriver à ce résultat.

Kaemtz a fait un grand nombre de mesures dans l'Allemagne centrale et en Suisse; il a trouvé qu'en moyenne le diamètre des vésicules du brouillard est d'environ 22 millièmes de millimètre, et qu'il varie comme il suit dans les différentes saisons :

DIAMÈTRE DES VÉSICULES DU BROUILLARD.

	mm.		mm.
Janvier	0 027	Juillet	0 017
Février	0 035	Août	0 014
Mars	0 020	Septembre	0 022
Avril	0 019	Octobre	0 020
Mai	0 015	Novembre	0 024
Juin	0 018	Décembre	0 034

On voit qu'il existe une progression assez régulière depuis l'hiver jusqu'à l'été, car les anomalies dépendent du nombre insuffisant des observations existantes. Ainsi en hiver, lorsque l'air est très-humide, le diamètre des vésicules est deux fois plus fort qu'en été, quand l'air est sec : mais dans un même mois, ce diamètre change aussi; il atteint son *minimum* quand le temps est très-beau, il augmente dès qu'il y a des menaces de pluie, et avant qu'elle tombe il est fort inégal dans le même nuage, qui contient probablement un grand nombre de gouttes d'eau mêlées à la vapeur vésiculaire.

L'automne est, comme le printemps, la saison des rosées abondantes; le refroidissement de la terre, dans les nuits claires, et l'humidité de l'air plus près de la précipitation que dans l'été, font déposer l'eau atmosphérique sur les objets terrestres refroidis, à peu près comme dans une salle de festin on voit l'humidité de

l'air chaud se déposer, en les ternissant, sur les cristaux que l'on apporte du dehors où il fait froid. La vapeur des mets, la respiration des convives, la combustion dans les appareils d'illumination rendent l'air de la pièce où l'on mange chaud et humide, et l'eau ruisselle le long des vases refroidis à la glace. Souvent en automne, le refroidissement nocturne de la terre se communique de proche en proche à la couche d'air qui la recouvre immédiatement, et de là des brouillards peu élevés que les rayons du soleil levant dissipent promptement. Si le terrain est coupé de vallées, l'air froid du brouillard y tombe et forme pour l'observateur, placé sur la plaine élevée, une *mer* blanche parfaitement de niveau. Bien souvent dans mon enfance je contemplais avant le lever du soleil, du haut des remparts de la ville de Langres, cet océan de vapeurs grises étendu sur la vallée de la Marne, et dont les vagues venaient baigner le rempart à quelques mètres au-dessous de moi. La hauteur des remparts de cette capitale antique des Lingons est de 450 mètres au-dessus du niveau de la mer. Parfois, en hiver, la vue s'étend, au lever du soleil, au-dessus du brouillard de la plaine, dans un ciel absolument pur, jusqu'à une distance si considérable qu'on distingue parfaitement à l'œil nu la silhouette du Mont-Blanc. Impressions lointaines qui frappez nos premiers regards d'enfants curieux, avec quelle fidélité vous restez sur la rétine de notre pensée, au delà des années et des troubles de la vie!

Pour avoir le spectacle dans sa plus imposante majesté, il faut du haut d'une montagne élevée embrasser un vaste horizon au lever du soleil après un jour où les nuages ont couvert le ciel de la contrée inférieure. Les nuages tourmentés de mille manières par les rayons du soleil et les vents légers qui en sont la conséquence n'offrent pas dans le jour une surface bien plane. Mais pendant la nuit tout se nivelle, tout s'équilibre, et une mer de vapeurs aériennes s'étend à perte de vue sous les pieds du contemplateur. Les sommets élevés des montagnes isolées qui l'environnent percent çà et là l'océan nébuleux, au-dessus duquel il arrive rarement qu'un aigle matinal apparaisse, non point pour admirer le spectacle pittoresque et saluer l'aurore, mais bien pour y trouver quelque proie plus facile à atteindre à ce moment qu'au milieu du jour. Aux premiers rayons du soleil, il s'élève du sein de la masse nuageuse des colonnes arrondies de matière fumeuse qui se fondent ensuite dans l'air environnant comme la fumée blanche des locomotives se fond dans l'air où elle est portée. Si l'on est dans la vallée, au milieu du brouillard, les rayons du soleil qui se ta-

misent au travers du feuillage des arbres dessinent de brillantes traînées lumineuses dont l'ensemble forme ce qu'on appelle une *gloire* à quelques mètres seulement au-dessus de la tête de l'observateur. Cette gloire, qui émane de l'arbre plongé dans le brouillard, rappelle tout de suite le buisson ardent de Moïse.

Quelquefois la surface seule des rivières se couvre de brouillard, parce que l'eau émet des vapeurs qui se condensent dans l'air qui les recouvre et qui se refroidit après le coucher du soleil. L'air prend en peu d'instants la température des corps avec lesquels il est en contact. Durant une nuit calme et sereine, la portion de l'atmosphère qui reposera sur l'eau sera donc plus chaude que celle qui s'appuiera sur le rivage.

Par un temps calme, là où l'eau abonde, les couches inférieures de l'atmosphère se chargent de toute l'humidité que leur température comporte. La quantité d'humidité, nous l'avons déjà remarqué, que l'air renferme quand il est saturé, est constante pour chaque température. Si de l'air saturé se refroidit par le contact d'un corps solide, il dépose sur la surface de ce corps une portion de son humidité; mais quand le refroidissement s'opère au sein même de la masse gazeuse, l'humidité abandonnée se précipite en petites vésicules flottantes qui troublent sa transparence : ce sont ces vésicules qui constituent les nuages et les brouillards.

Supposons qu'une circonstance quelconque, une petite déclivité du sol, par exemple, un léger souffle de vent amène, la nuit, l'air du rivage à se mêler avec l'air qui repose sur une rivière ou sur un lac : le premier, qui est le plus froid, refroidit le second; celui-ci abandonne aussitôt une partie de l'humidité qu'il renfermait et qui d'abord n'altérait pas sa diaphanéité; mais cette humidité tombant à l'état de vapeur vésiculaire, l'air se trouble, et quand le nombre des vésicules flottantes devient très-considérable, il en résulte un brouillard épais.

Au mois de juin 1818, sir Humphry Davy descendit le Danube près de Ratisbonne. Le brouillard se montrait le soir sur le fleuve, quand la température de l'air à terre était de 2 à 4 degrés au-dessous de celle de l'eau. Le matin, ce même brouillard se dissipait au contraire dès que la température de l'atmosphère sur le rivage dépassait celle de la rivière.

Le 11 juin, à six heures du matin, au-dessous du pont de Sassau, les températures du Danube, de l'Inn et de l'Ilz, au point où ces rivières se joignent étaient respectivement 16°,7, 13°,6 et 13°,3, tandis que sur le rivage un thermomètre exposé à l'air marquait 12°,2 seulement.

Dans ces circonstances, un brouillard épais régnait sur toute la largeur du Danube, une brume peu intense couvrait la surface de l'Inn, et la brume légère qu'on apercevait sur l'Ilz était l'indice de la faible précipitation d'humidité que

pouvait occasionner le mélange de l'atmosphère de la rivière avec l'atmosphère à peine plus froide venant du rivage.

La distribution des brouillards dans le courant de l'année est en rapport avec celle de l'humidité et de la température. Ils sont beaucoup plus nombreux en hiver qu'en été. L'Observatoire de Bruxelles, qui les enregistre avec soin, nous offre par exemple les chiffres suivants pour le *nombre des jours de brouillard* pendant trente ans (1833-1863) :

Janvier	259	Juillet	28
Février	168	Août	76
Mars	138	Septembre	159
Avril	62	Octobre	228
Mai	71	Novembre	276
Juin	42	Décembre	315

Total : 1822.

En certaines circonstances, le brouillard est très-épais, se termine par une surface plane comme une nappe d'eau, et s'élève lentement dans un air calme enveloppant tout dans sa viscosité froide et humide. L'ingénieux et hardi marin qui fit naufrage en 1864 sur le récif des îles Auckland, aux antipodes, M. Raynal, en a observé et subi un exemple rare. C'était le 9 août. Ayant fait l'ascension d'une montagne de l'île, il redescendait, avec l'un de ses compagnons, et suivait une mince arête entre deux précipices, quand un brouillard épais les enveloppa tout à coup. « Impossible de faire un pas, dit-il (*le Tour du monde*, 1869, II, p. 35) ; nous ne voyions pas où poser le pied. Nous passâmes ainsi une grande heure, immobiles, nous tenant par la main, sentant le froid pénétrer nos membres que l'engourdissement gagnait de plus en plus.... Heureusement, une bise s'éleva qui déchira le brouillard et l'emporta par lambeaux. »

Mais où les brouillards sont le plus épais, c'est dans les latitudes glacées. Au Spitzberg, dit M. Martins, les brumes sont presque continuelles, et d'une épaisseur telle qu'on ne distingue pas les objets à quelques pas devant soi. Ces brumes humides, froides, pénétrantes, mouillent souvent comme la pluie. Les orages sont inconnus dans ces parages, même pendant l'été; jamais le bruit du tonnerre ne trouble le silence de ces mers désertes. Aux approches de l'automne, les brumes augmentent, la pluie se change en neige. La figure 187, prise pendant le voyage scientifique dont nous avons déjà parlé, donne une idée de ces immenses et perpétuels brouillards.

Dans les contrées où le sol est humide et chaud, l'air humide et froid, on doit s'attendre à des brouillards épais et fréquents : c'est le cas de l'Angleterre, dont les côtes sont baignées par une mer à température élevée. C'est aussi le cas des mers polaires et de Terre-



Fig. 186. — Brouillard intense s'élevant dans une île des Antipodes.

Neuve, où le Gulf-Stream, qui vient du sud, a une température plus haute que celle de l'air.

A Londres, les brouillards ont quelquefois une densité extraordinaire. Chaque année, on lit plusieurs fois dans les journaux

anglais qu'on a été forcé d'allumer les becs de gaz en plein jour dans les rues et dans les maisons. Ainsi, pour en donner un seul exemple, le 24 février 1832, le brouillard était tellement épais, qu'on ne voyait pas clair à midi dans les rues, et, le soir, la ville



Fig. 187. — Brouillards intenses dans les montagnes du Spitzberg.

ayant été illuminée en réjouissance du jour de la naissance de la reine, des gamins se promenaient dans la ville avec des torches en criant qu'ils étaient à la recherche de l'illumination. On cite des brouillards analogues qui ont régné à Paris et à Amsterdam, et quelquefois, à une petite distance de ces villes, le ciel était

parfaitement serein. Nous avons eu un brouillard analogue en décembre 1868 à Paris[1].

Les brouillards épais deviennent parfois *odorants* en s'imprégnant des exhalaisons diverses qui peuvent arriver dans les couches inférieures de l'atmosphère. L'ammoniaque s'y laisse deviner assez souvent. En Belgique et dans le nord, il n'est pas rare qu'ils aient une odeur de tourbe. Dans les brouillards froids et humides des nuits d'octobre de cette année 1871, à Paris, on a pu remarquer celui du 14, qui émettait une assez désagréable odeur de pétrole.

Quand on considère de loin une chaîne de montagnes, on voit souvent un nuage attaché à chaque sommet, tandis que les intervalles sont parfaitement clairs. Cette apparition persiste pendant des heures et même des journées entières; mais cette immobilité n'est qu'apparente, car sur ces sommets il règne souvent un vent violent qui condense les vapeurs à mesure qu'elles s'élèvent le long des flancs de la montagne; lorsqu'elles s'éloignent des sommets, elle ne tarde pas à se dissiper. Dans les passages des Alpes, la formation, les mouvements et la disparition des nuages forment un spectacle aussi varié qu'intéressant.

Les nuages qui s'élèvent le long des pentes des montagnes pendant le jour, en vertu des courants ascendants diurnes, se dissolvent fréquemment en atteignant les sommets sous l'influence d'un vent supérieur comparativement sec et chaud. C'est le soir surtout que cet effet est le plus sensible; c'est surtout sur les cols, au sommet des couloirs qui viennent y aboutir, qu'il est facile d'observer ce phénomène. La brume paraît alors cheminer à l'encontre du vent, et cependant la surface qui la termine de ce côté reste stationnaire.

Souvent de sombres nuages, passant rapidement sur l'hospice du Saint-Gothard, se précipitent en masses épaisses dans la gorge profonde du lac Tremola. On pourrait croire qu'en peu d'instants la Lombardie tout entière va être ensevelie sous un épais brouillard; mais, à la sortie du val Tremola, il est déjà dissous par les courants chauds ascendants.

1. Il y a parfois des *brouillards secs*. Ils n'ont aucun rapport avec les études hygrométriques qui nous occupent ici. Ils sont dus la plupart du temps à la fumée de prairies incendiées, et peuvent s'étendre sur de vastes contrées. La fumée des bruyères de la Hollande s'avance parfois jusqu'en Autriche, à des centaines de lieues. La fumée des volcans s'étend également à de très-grandes distances, comme on l'a remarqué en 1868, à Honolulu, à 85 lieues du volcan. En 1865, celle de l'incendie de Limoges voilait encore le ciel à 30 lieues de là. Le plus intense brouillard sec que l'on ait mentionné est celui de 1783.

Le 8 septembre 1868, après le lever du soleil, je descendais du Saint-Gothard à Andermat, où je devais prendre la diligence venant d'Italie pour Altorf. Un brouillard si épais nous environnait, mes compagnons et moi, que nous ne pouvions distinguer à quelques mètres les rochers de granit qui bordent cette route si accidentée. Parfois l'espace s'éclaircissait, et l'on voyait les nuages, emportés par une brise rapide, tourbillonner sous nos pieds et se précipiter dans les abîmes de l'immense vallée. Au moment du départ de l'hospice (ou plutôt de l'auberge, car il n'y a plus d'hospice au Saint-Gothard depuis quatre ans), nous nous trouvions dans le ciel bleu, et les sommets granitiques dénudés, les pentes stériles où toute végétation est inconnue, les glaciers du massif déployaient sous nos regards leur panorama silencieux, tandis qu'à quelques centaines de mètres au-dessous de nous, les nuées grises voilaient la descente. Nous traversâmes les nuages et, pendant une heure de marche, nous descendîmes au milieu des vapeurs amoncelées. Mais à mesure que nous approchions de la limite de la végétation supérieure et du versant plus échauffé, les nuages diminuaient d'intensité, et, quoique emportés par une brise descendant sur le flanc des Alpes, ils se dissolvaient insensiblement et finirent par disparaître autour de nous. A l'heure où nous arrivâmes au Pont-du-Diable, quelques nuées reparurent dans la froide et profonde vallée, au fond de laquelle se précipite le torrent sinistre de la Reuss; d'autres, élevées par un courant d'air ascendant léchant la pente orientale du gigantesque massif, étaient allés s'accrocher aux cimes et se mêlaient singulièrement aux glaciers, de telle sorte que les glaciers paraissaient tout à coup multipliés.

Un jour, me rendant, au lever du soleil, de Lucerne à Fluelen, par le bateau, je fis des remarques analogues sur la formation des nuages. Le versant nord des hautes et splendides montagnes qui bordaient, à gauche de ma route, le lac des Quatre-Cantons, était en maint endroit tapissé d'un duvet de brouillards; les régions qui déjà recevaient le soleil en étaient affranchies, et les cols traversés par des courants d'air venant de l'autre côté (du sud) de mes montagnes de gauche, ne gardaient pas non plus la moindre trace de brouillards.

C'est dans ces pays admirables, où la nature a déployé à la fois ses forces les plus énergiques et ses flatteries les plus caressantes, c'est dans la Suisse aux Alpes argentées et aux lacs d'azur, que l'œil contemplateur peut le mieux observer la production des œuvres de l'Atmosphère. Tandis que l'homme s'agite en ses villes

bruyantes, tandis que livré aveuglément au travail ou au plaisir, il oublie la divine nature pour les artifices de ses mains, cette nature, éternellement active, élève sans cesse de la terre au ciel, du sol où nous végétons jusqu'aux régions bleues supérieures, les sphères invisibles de la vapeur aqueuse, les innombrables petites sphères d'hydrogène marié à l'oxygène, qui,en silence, dans leur petitesse et leur discrétion, dominant les régions inférieures où se livrent les combats de l'ambition et de la faim, règnent dans les hauteurs célestes, créent le monde fantastique des nuages, donnent au soleil un lit de pourpre et d'or, distribuent les beaux flocons de neige aux noires campagnes de l'hiver, versent l'ombre et la fraîcheur sur les plaines altérées de l'été, et parfois même viennent sans nulle crainte terrifier et renverser l'homme lui-même dans le fracas de la foudre et le tourbillon des tempêtes.

Considérons maintenant les nuages en eux-mêmes, leur formation, leur mode de suspension dans l'espace.

Les anciens croyaient qu'il y avait au-dessus de l'Atmosphère un réservoir d'*eaux supérieures*. Saint Basile en parle comme il suit à propos du firmament : « Puisque, le firmament prend son origine de l'eau, il faut estimer ou qu'il soit semblable à de l'eau glacée, ou qu'il soit fait de quelque matière semblable, qui a pris son commencement de quelque espesseur et coulure d'eau, comme est la nature de la pierre nommée crystal. »

Pensant qu'on pourrait s'étonner que Dieu eût créé une si grande quantité d'eaux, puisque celles-ci couvraient entièrement la terre, saint Basile dit encore : « que l'élément du feu étant nécessaire pour la conservation de l'univers, il falloit aussi qu'il y eût de l'eau, non-seulement pour l'usage des eaux terriennes, mais aussi pour remplir cet univers et tempérer la grande chaleur de l'élément du feu. Dieu fit donc, au commencement, une grande quantité d'eaux, laquelle il mit dans un dépost afin qu'elle peust suffire, iusques au bout et iour dernier ordonné pour la durée de ce monde, et laquelle sera consumée petit à petit par la force du feu.... Quant à la région éthérée, qui doute qu'elle ne soit pleine de feu et de chaleur? et si elle n'estoit contenue en certaines bornes, qui empescheroit qu'elle n'enflamast et brûlast tout ce monde et qu'elle ne consûmast toute l'humeur qui y est? »

C'est ainsi que l'on raisonnait avant l'époque des sciences exactes. On faisait d'abord des suppositions, et ensuite la logique se chargeait de tout expliquer.

Nous avons vu dans le chapitre précédent que l'humidité de l'air s'accroît jusqu'à une certaine hauteur, jusqu'à une *zone d'humidité maximum*, dont l'élévation varie suivant les saisons et suivant les heures, et au-dessus de laquelle l'air devient de plus en plus sec. Cette zone, que j'ai constatée hygrométriquement dans mes voyages en ballon, je trouve, en m'occupant de la discussion des brouillards, qu'elle a été *vue* par de Saussure dans ses voyages dans les Alpes, et par le commandant Rozet dans les Pyrénées, et aussi dans les Alpes. C'est une vapeur bleue transparente qu'on n'aperçoit que difficilement tant qu'on s'y trouve plongé, mais dont on distingue nettement la surface supérieure quand on l'a dépassée. Cette surface est toujours horizontale, comme celle de la mer. Lorsqu'on est très-élevé sur les pics des Alpes ou des Pyrénées, on voit la limite supérieure de cette atmosphère de vapeur se dessiner à l'horizon par une ligne bleuâtre semblable à celle qui termine l'horizon de la mer. Sa hauteur varie suivant les saisons et les heures; on l'a géodésiquement trouvée tantôt à 1100 mètres, tantôt à 1500, tantôt à 2000 et même à 3000 et 4000. Sa température ne descend pas au-dessous de zéro. Le plan inférieur qui limite les nuages est déterminé par le point de la verticale où se rencontre le point de rosée de l'air, de manière que s'il se fait des courants obliques, ou même verticaux, le plan inférieur des nuages reste le même, l'air qui descend au-dessous de ce plan laissant dissoudre sa vapeur, et celui qui s'élève se troublant à la même hauteur.

C'est sur cette surface terminale de l'atmosphère de vapeur que se forment les nuages et qu'ils semblent ensuite reposer. Le 15 juillet 1867, je voguais entre 1500 et 2000 mètres de hauteur avant le lever du soleil. C'est une des rares circonstances où j'ai pu assister directement à la formation des nuages et me trouver dans l'officine même de la nature. C'était au-dessus de la plaine du Rhin, entre Aix-la-Chapelle et Cologne. L'Atmosphère était restée pure, quand de petits flocons blancs apparurent çà et là dans la zone d'humidité maximum. Puis, se soudant, ils formèrent des flocons plus gros, et ceux-ci des mamelons. Parfois ils se groupaient en grand nombre; parfois ils se dissolvaient aussi facilement qu'ils naissaient. Les petites nuées blanches réunies en masses arrondies formèrent des cumulus. Cette formation des nuages s'effectuait à plusieurs centaines de mètres au-dessous de nous. Avec le soleil, l'humidité nocturne du ballon s'évapora, et nous nous élevâmes lentement jusqu'à 2400 mètres. Il en fut de même des nuages, qui

s'élevaient même un peu plus vite que l'aérostat et finirent par nous envelopper et nous dépasser.

Peltier et Rozet ont assisté, sur les montagnes, à la formation des nuages, et ils rendent compte exactement de ce même mode de production.

La surface supérieure des nuages est diversifiée, bombée audessus des courants ascendants qui les élèvent, creusée plus loin, et donne l'aspect d'une série de montagnes et de vallées souvent fort pittoresques et accidentées de formes étranges. La surface inférieure, au contraire, est plane et souvent horizontale, et elle flotte sur l'atmosphère de vapeur comme sur un lac.

Les vésicules des nuages s'attirent les uns les autres et se groupent en masses condensées. Il me paraît indispensable de supposer cette attraction pour expliquer les figures si nettement limitées que revêtent les nuages divers. D'ailleurs, j'ai eu plusieurs fois l'occasion de la voir à l'œuvre et de la surprendre, pour ainsi dire, sur le fait, entre autres, dans l'ascension dont je viens de parler. Les nuées naissaient çà et là à l'état fragmentaire, et les groupes de vésicules se soudaient petit à petit, comme on voit, à la surface d'une tasse de café, les globules d'air provenant de la fusion du sucre se réunir et former un même système. Cette sorte d'affinité moléculaire, je l'ai constatée sous une forme plus arrêtée encore dans certains nuages de fumée provenant d'explosions, comme on en a eu le spectacle plus fréquent que jamais en cet an de grâce 1871. Le jour de la formidable explosion de la cartoucherie de Vincennes particulièrement, le 14 juillet 1871, le nuage qui s'éleva au milieu des grondements volcaniques du cratère prit dans l'air calme de cette chaude journée une forme pommelée que l'on peut exactement comparer à un immense chou-fleur. Ce nuage resta longtemps immobile, et, de la distance dominante de l'Observatoire à Vincennes, j'ai pu l'observer à loisir dans une lunette astronomique d'assez fort grossissement. L'adhérence des molécules était manifeste, et ce nuage eût été solide, qu'il n'aurait pas eu une forme mieux définie à la lumière du soleil qui l'éclairait (1 h. 20 min.).

Les nuages sont ordinairement entraînés par le vent, suivant exactement son cours, étant comme immergés et relativement immobiles dans le courant au sein duquel ils flottent. La mesure de leur vitesse donne même la mesure du vent supérieur. Mais ce n'est pas là une règle sans exception. Il y a aussi des *nuages qui ne marchent pas*, lors même qu'un vent plus ou moins fort les traverse et semblerait devoir les entraîner.

Un jour que je passais en ballon, accompagné de M. Eugène Godard, au-dessus de la forêt de Villers-Cotterets, j'ai été fort surpris de voir, pendant plus de vingt minutes, un petit nuage qui pouvait avoir 200 mètres de long sur 150 de large, et qui était suspendu *immobile* à 80 mètres environ au-dessus des arbres. En approchant, nous en vîmes bientôt cinq ou six plus petits, disséminés et également immobiles. Cependant l'air marchait en raison de 8 mètres par seconde; quelle ancre invisible retenait ces petits nuages? En arrivant au-dessus, nous reconnûmes que le principal était suspendu au-dessus d'une pièce d'eau, et que les autres marquaient le cours d'un ruisseau. — C'était un courant ascendant d'air humide qui s'élevait de là, et dont l'humidité invisible atteignait son point de saturation et devenait visible en traversant le vent frais qui soufflait au-dessus du bois.

Près de Wiesbaden, Kæmtz a été témoin d'un fait analogue après une forte pluie. « Les nuages s'étant divisés, dit-il, le soleil parut, et je vis une colonne de brouillard s'élever constamment d'un même point. J'y courus : c'était une prairie fauchée, entourée de pâturages couverts d'une herbe très-haute qui, s'échauffant moins que la surface fauchée, donnaient lieu à une évaporation moins active. » En Suisse, le phénomène se montre sur une moins grande échelle; tandis que le plus beau temps règne sur le Faulhorn, les lacs de Suisse sont souvent couverts de brouillards d'une densité fort différente. Le même météorologiste a observé que celui qui cachait les lacs de Zug, Zurich et Neuchâtel était fort épais, tandis que les lacs de Thun et de Brienz étaient à peine couverts d'une légère vapeur. Ce phénomène s'est reproduit trop souvent pour l'attribuer au hasard. Le lac de Zug est assez profond, et ses affluents ne viennent pas directement de la région des neiges éternelles. Sa température doit être plus élevée que celle du lac de Brienz, où l'Aar se jette immédiatement après avoir quitté les glaciers de la Grimsel. A température égale, le premier se couvre plus facilement de brouillard que le second.

Mon excellent vieux maître, M. Babinet, a observé ce même fait d'un nuage immobile au sommet du Canigou, le plus élevé des Pyrénées orientales. « Un vent violent poussait l'air de France vers l'Espagne, dit il; nulle part de nuages, excepté un petit filet à peine épais de quelques mètres, et pas beaucoup plus large, qui, malgré la violence du vent qui semblait devoir l'emporter, restait obstinément fixé sur le point où je l'observais. Ce filet de nuage était si nettement terminé, que je pouvais y mouiller la moitié seulement d'un crayon

que je tenais à la main. Le secret de ce curieux phénomène, c'est que l'air était juste assez humide pour devenir nuage à la hauteur en question. Plus bas, c'est-à-dire avant comme après avoir atteint cette hauteur, il reprenait sa transparence. C'est pourquoi, avant et après ce passage, le nuage disparaissait. Ce n'était point, en réalité, une masse d'air fixe qui formait le nuage; c'était l'air, transparent partout ailleurs, qui, en atteignant ce sommet, perdait momentanément sa tranparence par le froid dû à la dilatation, et remplacé par un nouvel air qui, subissant la même influence, semblait perpétuer le petit filet nuageux. »

Il nous reste maintenant à nous rendre compte de la cause de la suspension des nuages dans l'Atmosphère.

Lorsqu'on voit un nuage se résoudre en pluie et verser des milliers de litres d'eau, on s'étonne qu'un tel poids d'eau puisse se tenir suspendu dans l'espace aérien. La cause de sa suspension réside simplement dans son extrême divisibilité. Nous avons vu que les vésicules des nuages ne mesurent que 2 centièmes de millimètre de diamètre. Abandonnées à elles-mêmes, ces vésicules tombent. Le calcul montre qu'elles emploieraient plus d'une demi-heure pour descendre de 2 kilomètres dans l'Atmosphère, c'est-à-dire que leur vitesse de chute n'est pas de 1 mètre par seconde; elle n'est souvent que de 3 décimètres. Mais pendant le jour l'air est constamment traversé par des courants chauds *ascendants*, qui s'élèvent avec une vitesse de plusieurs mètres par seconde. Ainsi les nuages sont incapables de descendre pendant le jour, à moins de circonstances exceptionnelles. Il n'est pas nécessaire de supposer que leurs vésicules soient remplies d'air dilaté et plus léger, comme autant de petits aérostats. Cependant, comme le disait Fresnel, la chaleur solaire absorbée par le nuage doit aider encore à sa suspension. Pendant la nuit, les nuages se rapprochent du sol. Mais nous avons vu que les conditions de visibilité de la vapeur d'eau dépendent de la température et du point de saturation. Il en résulte que les nuages se dissolvent par leur surface inférieure à mesure qu'ils descendent dans un air plus chaud, et assez souvent aussi par leur surface supérieure lorsqu'ils s'élèvent sous l'action du soleil. De sorte qu'en définitive ils changent constamment d'épaisseur, de forme, de substance même.

Les nuages, n'étant qu'un état particulier de l'air, nous semblent immobiles, lors même que les particules qui les composent descendent sans cesse dans leur sein pour disparaître à leur surface inférieure, au-dessous de laquelle elles se dissolvent. Ils reposent

d'ailleurs sur la zone de vapeur invisible dont nous avons parlé. La marche horizontale des courants représente un effort assez considérable pour soutenir les nuages à la même hauteur, lors même que toutes les particules aqueuses seraient pleines.

Habitantes de l'espace aérien, métamorphoses incessantes et impérissables, les nuées s'élèvent vers les hauteurs inaccessibles et peuplent l'azur de leurs formes sans nombre. « Dominons la Terre, leur faisait dire déjà le brillant Aristophane, dans sa comédie des *Nuées* contre Socrate, montrons pendant quelques minutes aux regards des hommes notre face qui change à chaque instant et qui cependant durera autant que l'Éternité ! Élançons-nous frémissantes du sein de notre père Océan! Gravissons sans perdre haleine le sommet neigeux des montagnes! Soutenons-nous à ces hauteurs d'où nous ne pouvons plus apercevoir notre image réfléchie sur le miroir azuré des mers! Si nous cessons d'entendre le son grave murmuré par les flots, nous commençons à écouter la sublime harmonie des fleuves divins. Que notre rôle est merveilleux ! N'est-ce point nous qui avons reçu de Jupiter la mission de faire briller aux yeux des hommes toutes les richesses du firmament? C'est en même temps de notre sein fécond que tombent les pluies qui mettent en mouvement le cycle de la vie terrestre. Enfin, est-ce que ce n'est point nous encore qui protégeons toute la nature vivante contre la plus cruelle des destinées? N'est-ce pas notre enveloppe légère qui sépare le monde vivant du froid impitoyable de la mort éternelle? »

Après avoir observé la formation des nuages et leur situation dans les airs, considérons leurs formes variées et caractéristiques.

Les formes des nuages sont diversifiées à l'infini, depuis le brouillard épais qui baigne la surface du sol, jusqu'aux filaments lumineux si déliés qui planent dans les hauteurs de l'Atmosphère. Cependant la nécessité de classification scientifique a donné l'idée de distinguer, pour mettre quelque clarté dans cette étude souvent nébuleuse, des formes générales, des types auxquels on peut rapporter la majorité des formes présentées. C'est le météorologiste Howard qui le premier a donné des noms à ces types principaux pour les reconnaître, et sa classification a été généralement adoptée quant au principe, si bien que ses figures sont devenues en quelque sorte classiques et couvrent aujourd'hui tous les traités de physique; elle nous servira seulement de base.

Les nuages dont la forme est la plus fréquente dans nos climats

ont leurs contours arrondis, semblent posés les uns devant les autres, et leurs contours bords définis se dessinent en courbes blanches sur l'azur du ciel. On leur a donné le nom de *cumulus.* C'est surtout en été que leur forme est la mieux dessinée. Les marins les appellent *balles de coton.* Ils s'élèvent et grossissent le matin, atteignent leur plus grande hauteur au moment de la plus forte chaleur et redescendent ensuite pour disparaître, lorsqu'ils ne sont pas nombreux. Leur épaisseur varie de 400 à 500 mètres, leur hauteur varie de 500 à 3000 mètres.

Quelquefois ces demi-sphères s'entassent les unes sur les autres et forment ces gros nuages accumulés à l'horizon qui ressemblent de loin à des montagnes couvertes de neige. Ce sont les nuages qui se prêtent le plus aux jeux de l'imagination, car leur légèreté et l'extrême variabilité de leurs contours leur donnent toutes les métamorphoses. On y reconnaît un peu ce que l'on veut, des hommes, des animaux, des dragons, des arbres, des montagnes. Ils fournissent des comparaisons aux poëtes, et Ossian leur a emprunté ses plus belles images. Les traditions populaires des pays de montagnes sont remplies d'événements étranges où ces nuages jouent un grand rôle.

Cette forme fréquente correspond ordinairement au vent chaud du sud-ouest et du sud, c'est-à-dire au courant équatorial. Lorsque ce courant humide souffle pendant longtemps, les cumulus deviennent plus nombreux et plus denses, et s'étendent comme des couches qui peuvent couvrir entièrement le ciel. C'est là une seconde forme presque aussi fréquente que la première dans nos climats si variables, et qui caractérise l'hiver comme la première caractérise l'été; sa différence principale avec celle-ci consiste dans sa densité, de sorte que la condensation, ou la pluie, arrive plus vite dans cet état du ciel que dans le premier. On distingue cette forme de nuages sous le nom de *cumulo-stratus.* Les nuages moutonnés, le ciel pommelé la représentent sous des aspects bien connus.

Lorsque les nuages ne sont plus dessinés, et ne forment qu'une vaste nappe étendue par sillons horizontaux jusqu'à l'horizon, on donne à cet aspect le nom de *stratus.*

Lorsqu'un nuage va se résoudre en pluie, il acquiert une plus grande densité, devient plus sombre, et, à moins qu'il ne s'agisse d'une grêle ou d'une giboulée partielle, s'étend sur une vaste étendue. L'eau qui s'en détache tomberait verticalement si l'atmosphère était calme et les gouttes d'eau assez lourdes; mais deux causes, dont l'une au moins existe toujours, le vent et la lé-

gèreté des gouttes de pluie, font que la quantité d'eau qui tombe du nuage forme une traînée oblique, généralement précédée par le nuage que le vent pousse avec rapidité. On donne le nom de *nimbus* à cette situation spéciale du nuage qui se résout en pluie.

Tous ces nuages sont formés de vésicules aqueuses plus ou moins grosses et plus ou moins serrées. Mais les nuages ne résident pas seulement dans les couches aériennes dont la température est supérieure à zéro; ils flottent également dans les régions dont la température est glaciale. Dans cette situation, l'eau vésiculaire se congèle en filaments minuscules de glace, et les nuages qui en sont formés sont des nuages de glace ou de neige, qui déjà nous ont servi à expliquer les phénomènes optiques tels que les halos, parhélies, etc. Ces nuages de glace sont ceux qui atteignent les régions les plus élevées. Quelle que soit la hauteur à laquelle je sois monté en ballon, ils dominent toujours à une telle élévation qu'il ne semble pas qu'on s'en approche, tandis qu'une ascension même fort modeste fait vite traverser les cumulus et les formes diverses dont nous venons de parler. A 10 000 mètres de hauteur au-dessus de l'Angleterre, M. Glaisher les a encore vus dominant, toujours plus haut, *excelsior!*

Ils se composent de filaments déliés dont l'ensemble ressemble tantôt à des traînées blanches faites par un balai, tantôt à des barbes de plume, tantôt à des cheveux ou à un réseau léger et inégal. Leur hauteur moyenne est de 6000 à 7000 mètres. Par leur constitution même, ils demeurent dans les régions éthérées des neiges éternelles. Mais, comme nous l'avons vu, (p. 321) la zone de zéro varie de hauteur suivant les climats et les saisons; il en résulte que ces nuages peuvent se présenter eux-mêmes dans les régions inférieures de l'Atmosphère aux latitudes glaciales des régions polaires, et même en nos latitudes pendant certains froids d'hiver.

Ces nuages sont désignés sous le nom de *cirrus*. Un peu d'habitude les fait reconnaître assez vite, et ce qui frappe le plus en eux, c'est qu'ils sont presque toujours orientés en longues traînées minces, droites et blanches, correspondant aux courants supérieurs qui les dirigent, les sculptent ou les fondent.

Parfois leur blancheur se ternit, leurs stries s'entre croisent, et ils deviennent plus denses parce que l'air supérieur devient plus humide. Dans ce cas, ils prennent l'apparence du coton cardé, et ordinairement cette modification annonce la pluie. En cet état de plus grande densité, ils reçoivent la désignation de *cirro-stratus*.

Parfois aussi ils se transforment en légers nuages transparents de vapeur vésiculaire, si transparents qu'on peut distinguer à travers les étoiles et les taches de la lune. Ce sont ces nuages qui donnent naissance aux couronnes. Lorsqu'ils sont bien éclairés, ils paraissent arrondis et moutonnés. Quand le ciel en est couvert, on dit qu'il est pommelé. Leur hauteur moyenne est de 3000 à 4000 mètres. On les distingue sous le nom de *cirro-cumulus*. — Les cumulus et les cirro-cumulus sont ceux qui donnent les plus belles nuances aux couchers du soleil, en réfractant et colorant ses rayons par leur transparence et leur réflexion lointaine (voy. notre pl. 2 et la p. 158). Les beaux couchers de soleil que l'on admire à Paris sont dus en partie à ce que ces nuages, situés au-dessus du Havre pour l'horizon de Paris, nous renvoient une douce image des effets lumineux produits sur la mer.

Telles sont les principales formes affectées par les nuages et qui sont dues à la différence de leur constitution, de leur élévation et des conditions de l'affinité moléculaire qui les définit. En somme, ces variétés ne constituent que deux grandes catégories : les cumulus formés de vésicules liquides, et les cirrus formés de particules glacées.

M. A. Poey réunit toutes les formes de nuages dans la « classification scientifique et vulgaire » suivante :

1er Type.	— CIRRUS. Nuage bouclé.	Nuages de glace. Hauteur : 8000 à 12 000 mètres.
Derivés.	*Cirro-stratus*. Nuage filé.	
	Cirro-cumulus. Nuage pommelé.	Nuages de neige. Hauteur : 4000 à 8000 mètres.
	Pallio-cirrus. Nuage nappé.	
2e Type.	— CUMULUS. Nuage montagneux.	Nuages de pluie, vésiculaires ou de vapeur d'eau. Hauteur moyenne : 1000 mètres.
Dérivés.	*Pallio-cumulus*. Nuage de pluie.	
	Fracto-cumulus. Nuage de vent.	

Parmi les nuages formés de vésicules liquides, nous devons maintenant porter notre attention sur des formes particulières, caractéristiques, correspondant à la production des météores aqueux qu'elles amènent ou qu'elles annoncent.

Mon excellent collègue J. Silberman, préparateur au Collége de France, et vice-président de la Société météorologique, s'est laborieusement intéressé depuis plus de trente ans à étudier et dessiner ces formes typiques particulières. Parmi les espèces très-nombreuses qu'il a stéréotypées et réunies en une sorte de musée météorologique, nous remarquerons les principales.

Chacun se souvient de la forme des nuages qui donnent les longues pluies. Le ciel est entièrement couvert d'une immense nappe grise, et la pluie longue et perpétuelle tombe de couches horizon-

tales légèrement ondulées, qui se distinguent à peine du fond sombre général. Les jours et les nuits se succèdent, et le ciel reste couvert de ce couvercle opaque dont l'épaisseur atteint parfois plusieurs milliers de mètres, occupés par plusieurs couches successives dans lesquelles la lumière du soleil d'automne est absorbée et presque éteinte. Ce sont là des nuages de pluie continentale, qui s'étendent sur de vastes contrées et ne laissent pas distinguer leurs contours.

Les *nuages de pluie partielle* les rappellent par leur extension en couches horizontales; mais ici la forme, moins étendue, est plus définie, elle ressort sur le fond du ciel, non plus obscurci par l'immensité des nappes superposées, mais partiellement couvert de cumulus qui tapissent l'azur sous une densité variable. La pluie s'échappe des flancs du nuage pour arroser les villes et les campagnes; elle se dessine sur le fond pâle du ciel en stries grises obliques, dont l'ensemble se module au gré du vent. Le nuage ne se résout pas toujours entièrement. Certaines régions semblent, après avoir donné leur trop-plein, se tarir et se replier en quelque sorte dans le sein du nuage, comme ramenées par l'affinité moléculaire qui donne aux nuées leurs changeants contours.

Bien différent est le *nuage de giboulée*. Il ne s'étend plus en vaste nappe horizontale, mais forme un ensemble défini, isolé souvent dans l'air bleu. Le soleil arrive jusqu'à lui et fait ressortir sa blanche surface sur le fond du ciel. De ses flancs ouverts tombe la pluie froide, le grésil, la giboulée de mars que le vent disperse et fouette au visage. Le dessin que nous reproduisons a été pris séance tenante de la terrasse du Collége de France, au sud, la giboulée striant le ciel obliquement derrière Saint-Étienne du Mont et la tour de Clovis. Le précédent représente au contraire le nord, et la pluie tombant au nord-ouest sur les Ternes.

Les nuages qui donnent *la grêle* présentent l'aspect d'une singulière adhérence de molécules, comme si l'attraction tendait à les réunir en des masses condensées de forme globulaire, et leur aspect fait involontairement songer à celui d'un chou-fleur. Ils sont d'un gris cendré caractéristique et répandent au-dessous d'eux une obscurité profonde. Cette adhérence particulière a été semblablement constatée sur les *nuages d'orage*. Le plan inférieur de cette espèce de nuées est horizontal, et de cette sorte de table s'élèvent des panaches, des fuseaux, qui rappellent l'idée de boules de laine plus ou moins énormes, plus ou moins étirées, attachées à un même système. Ce sont là d'ailleurs des types, par

Hachette & Cie



Silbermann pinxt

Eug. Cicéri, Chromolith

PLUIE PARTIELLE

Imp. Lemercier & Cie Paris

CHAPITRE III.

LA PLUIE.

CONDITIONS GÉNÉRALES DE LA FORMATION DE LA PLUIE. SA DISTRIBUTION SUR LE GLOBE. — LA PLUIE EN EUROPE ET EN FRANCE.

Maintenant que nous connaissons la distribution de l'humidité dans l'air atmosphérique, le mode de formation et de suspension des nuages dans l'espace, leur partage en deux espèces principales bien distinctes, et l'action de la température sur la vapeur d'eau, nous pouvons nous rendre facilement compte de la formation de la pluie.

La pluie est la précipitation de la vapeur aqueuse qui constitue les nuages. Pour que cette vapeur se précipite, c'est-à-dire forme des gouttes pleines qui, par leur poids, tombent à travers l'atmosphère et produisent la pluie, il faut que l'état moléculaire du nuage soit modifié par une cause extérieure. Cette modification est produite par l'influence des nuages supérieurs, des nuages de glace. Il y a des situations telles, que la moindre circonstance les trouble profondément et les détruit. Tel est le cas des cumulus saturés; le moindre refroidissement les condense et précipite en pluie une partie plus ou moins grande de la vapeur vésiculaire qui les compose.

La condition ordinaire de la production de la pluie consiste donc dans l'existence de deux couches de nuages superposées, et c'est celle du haut qui détermine la précipitation de celle du bas. C'est-là une observation que tout le monde peut vérifier facilement quand on en est prévenu; depuis plusieurs années je me suis at-

taché à examiner l'état du ciel au moment de la pluie, sans jamais avoir pu une seule fois trouver cette condition en défaut.

Monck Mason, dans ses excursions aéronautiques, a remarqué que lorsqu'un ciel complétement couvert de nuages donne de la pluie, il y a toujours une rangée semblable de nuages située au-dessus, à une certaine hauteur, et qu'au contraire, quand il ne pleut pas, quoique le ciel présente inférieurement la même apparence, l'espace situé immédiatement au-dessus offre pour caractère dominant une grande étendue de ciel clair et jouissant d'un soleil qui n'est masqué par aucun nuage.

Déjà Saussure avait observé le même fait dans ses voyages dans les Alpes. Hatton avait remarqué que quand deux masses d'air saturées ou presque saturées, mais d'inégales températures, se rencontrent, il y a précipitation de la vapeur aqueuse. Peltier observa sous un autre point de vue, qu'un orage est toujours composé de deux rangs de nuages d'électricité contraire. Le commandant Rozet conclut d'une longue série d'observations, que les orages et la pluie résultent l'un et l'autre de la rencontre des cirrus avec les cumulus, de la vapeur glacée avec la vapeur vésiculaire. Kaemtz et Martins adoptent la même théorie. M. Renou ajoute de plus que l'eau peut descendre sans se glacer jusqu'à 15, 20, 25 degrés au-dessous de zéro, dans l'état d'extrême divisibilité qui constitue les brouillards et les nuages, et que la pluie et la grêle sont dues au mélange des cirrus glacés avec les cumulus encore liquides, sous l'influence variable de la température[1].

Le transport des masses nuageuses joue donc lui-même un rôle fondamental dans la dissolution de ces masses, l'abondance et la distribution des pluies. Nous l'avons déjà remarqué en étudiant la

1. Tel est le mode général de formation de la pluie. Cependant elle tombe parfois *par un ciel serein*. En voici plusieurs exemples :

Le 9 août 1837, à neuf heures du soir, Wartmann de Genève constata que pendant deux minutes une pluie formée de larges gouttes d'eau tiède tomba d'un ciel pur où brillaient les étoiles. Les nombreux promeneurs qui se trouvaient sur le pont des Bergues n'eurent que le temps de se sauver dans toutes les directions, fort surpris de cette averse bizarre. Le tour de l'horizon était occupé par de gros nuages noirs non continus.

Le 31 mai 1838, à sept heures du soir, le même observateur constata encore, à Genève également, une pluie analogue et qui dura six minutes. Les gouttes, tièdes, d'abord grosses et serrées, devinrent ensuite très-fines.

Le 11 mai 1844, à dix heures du matin et à trois heures de l'après-midi, le même fait fut encore constaté par le même observateur, l'air étant parfaitement calme.

La même année, à Paris, le 21 et le 22 avril, vers deux heures et demie du soir, un capitaine du génie, de Noirfontaine, étant sur les glacis, loin de toute habitation, reçut sur le visage et sur les mains des gouttes d'eau très-fines lancées avec force. Des soldats s'en aperçurent également. Les gouttes n'étaient ni assez

correspondance des différentes directions du vent avec la quantité de pluie tombée. Le vent du S. O., qui domine dans nos contrées, est aussi le plus pluvieux, parce qu'il entraîne avec lui les couches nuageuses formées sur l'Océan, ces couches d'humidité pouvant d'ailleurs être même invisibles.

Ainsi, nous pouvons nous représenter l'immense évaporation qui s'accomplit journellement à la surface de l'Océan, et voir clairement en elle l'origine des nuages et des pluies. Les vents alizés, qui soufflent à la surface de la mer sous les tropiques, emportent cette vapeur d'eau jusqu'aux calmes équatoriaux, où ils s'élèvent, atteignent les froides hauteurs et s'en retournent vers les contrées tempérées, chargés d'humidité. En s'élevant à travers l'atmosphère des régions équatoriales, ils laissent se condenser une partie de leur vapeur, et comme ce fait arrive tous les jours, il y a là une zone constante de nuages et de pluies. C'est l'anneau de nuages (*cloud-ring*) des marins anglais, ou le *pot au noir* des marins français. Le même fait se produit dans la planète Jupiter, dont on distingue si bien les bandes équatoriales d'ici, malgré les 200 millions de lieues qui nous en séparent.

Les nuages océaniques venus du S. et du S. O. sèment leur eau suivant leur marche, selon leur hauteur, leur température, les couches de nuages plus ou moins épaisses et plus ou moins froides qui les surplombent, selon les vents accidentels qui viennent les influencer, et selon le relief du sol qui modifie leur cours. Toutes choses égales d'ailleurs, la proportion des pluies décroît de l'équateur aux pôles, puisque, d'une part, l'évaporation se fait presque tout entière sur les chaudes latitudes, et que, d'autre part, la quantité de vapeur que l'air peut dissoudre augmente rapide-

grosses ni assez abondantes pour pouvoir être remarquées sur le sol. Il n'y avait pas dans le ciel la moindre trace de nuages ni de vapeurs. Le vent soufflait avec force du nord-nord-est.

M. Babinet a fait une observation analogue le 2 mai de la même année, vers neuf heures du soir, à Paris. Le ciel était très-pur, d'une teinte de bleu foncé, l'air calme, l'horizon dépourvu de vapeurs. La pluie fine, qui dura dix minutes, n'était pas assez abondante pour laisser des traces sur le sol.

Le 25 août 1865, M. Ragona, directeur de l'Observatoire de Modène, constata une pluie analogue qui dura un quart d'heure, entre huit heures et demie et neuf heures du soir.

Humboldt cite plusieurs exemples du même genre. Kaemtz assure que, d'après ses propres observations le fait n'est pas très-rare, et arrive deux ou trois fois par an.

Cette pluie qui tombe d'un ciel serein est due, ou bien à des vapeurs qui se condensent en eau sans passer par l'état intermédiaire de vapeurs vésiculaires, ou bien à un transport de pluie par un vent puissant qui l'a prise à plusieurs lieues de distance. Dalton observa un jour un transport d'eau salée en Angleterre jusqu'à plus de vingt lieues de la mer.

ment avec le degré thermométrique. Ainsi, par exemple, il tombe plus de 2 mètres de hauteur de pluie par an à la Guyane, à Panama, tandis qu'il n'en tombe pas 20 centimètres à Arkhangel.

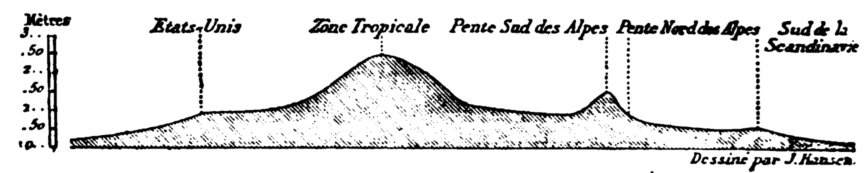


Fig. 189. — Diminution des pluies, des tropiques aux pôles.

Une seconde loi a été remarquée dans la proportion des pluies : c'est leur diminution suivant la distance à la mer, mesurée sur la direction des vents dominants. Il est facile de comprendre que les nuages ne pouvant plus se reformer dans l'intérieur des continents, deviennent d'autant plus rares et donnent d'autant moins de pluie qu'on est plus éloigné des côtes de l'Océan. L'évaporation produite sur les fleuves, les lacs, les marais, les plaines humides, donne bien naissance à des nuages, mais ce n'est là qu'une source insignifiante de pluie comparée à celle de l'Océan. Ainsi, il tombe 1^{m},24 de pluie à Bayonne, 1^{m},20 à Gibraltar, 1^{m},30 à Nantes ; seulement 42 centimètres à Francfort, 45 à Pétersbourg, 45 à Vienne. En Sibérie, il n'en tombe plus que 20 centimètres, et moins encore en s'avançant à l'est. — Nous voyons à Alger une moyenne de 200 millimètres d'eau, et une moyenne de 100 millimètres à

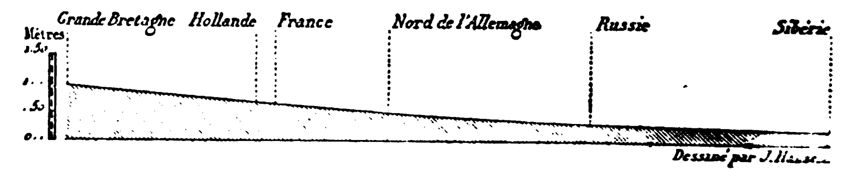


Fig. 190. — Diminution des pluies, selon l'éloignement de l'Océan.

Oran et à Mostaganem. Pour peu qu'on descende vers le sud, la quantité de pluie diminue rapidement, et Biskra, sur les confins du désert, ne reçoit plus que 5 millimètres d'eau, quantité tout à fait insignifiante.

Une troisième loi s'est fait également reconnaître par la comparaison d'un très-grand nombre d'observations. Le relief du sol apporte une variation dans les deux éléments de distribution que nous venons de considérer. Si une masse d'air saturée d'humidité, une couche de nuages, rencontre une chaîne de montagnes, cette

proéminence du sol l'arrêtera en partie. Mais les nuages ne s'arrêteront pas longtemps. Les courants d'air qui s'élèvent sur les pentes des montagnes les élèveront en même temps; ils se refroidiront en raison de 1 degré pour 120, 150, 200 mètres, suivant la saison et la température, subiront une condensation progressive, de telle sorte que lorsqu'ils arriveront à la crête de la chaîne de montagnes, ils pourront passer par-dessus, une bonne partie de leur eau sera tombée et finira de tomber sur cette crête. Le ralentissement de l'air les dépouille aussi de leur eau, un peu comme le ralentissement d'un cours d'eau favorise la chute des dépôts qu'il tient en suspension. Il tombe donc plus d'eau sur un pays hérissé de montagnes qu'il n'en tomberait si celles-ci n'existaient pas et si les nuées nageaient sans obstacle au-dessus de plaines immenses; il tombe plus d'eau, également, sur le versant tourné du côté du vent marin que sur le versant opposé. Ainsi, les nuages qui, en passant au-dessus de Lisbonne, n'y laissent tomber que 70 centi-

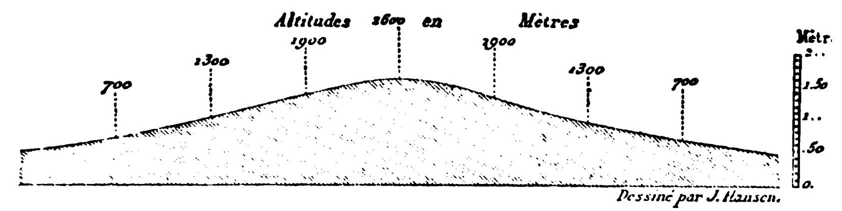


Fig. 191. — Accroissement des pluies, selon le relief du sol.

mètres d'eau par an, sont bientôt arrêtés par les montagnes aux froids sommets de Portugal et d'Espagne, et versent 3 mètres d'eau à Coïmbre. — Les nuages qui passent au zénith de Paris y versent par an 50 centimètres de hauteur d'eau; à mesure que l'altitude augmente, on voit la quantité de pluie augmenter; ainsi, sans sortir du bassin de la Seine, nous voyons 1 mètre d'eau pluviale sur le plateau de Langres, et 1^{m},80 à la station supérieure du Morvan, aux Settons (Nièvre). A Genève, au pied des Alpes, la quantité annuelle de pluie est de 825 millimètres, et au col du grand Saint-Bernard elle est de 2 mètres.

Il y a des régions où ces conditions sont si bien réunies, que les pluies s'y arrêtent comme attirées d'une manière permanente. Ainsi la haute chaîne de l'Himalaya arrête les nuages venus de l'immense évaporation de l'océan Indien. A Cherra-Poejen, situé sur les monts Garrows, à 1360 mètres d'altitude, au sud de la vallée de Brahmapoutrah, la quantité d'eau versée par les nuages est de 14^{m},80! Ces régions montagneuses et voisines du tropique sont probablement

celles du maximum de pluie sur la terre; ce sont là aussi les grands réservoirs des fleuves asiatiques. Dans ces mêmes pentes inférieures de l'Himalaya, sur le versant occidental des Ghâtes, on a constaté 7^{m},67 de hauteur moyenne de pluie, d'après une période de quatorze années. On a vu, dans ces montagnes, une averse de quatre heures seulement recouvrir le sol d'une couche liquide évaluée à 76 centimètres, plus que Paris n'en reçoit pendant toute une année. Nulle part, sans doute, dans les régions de la zone torride, la précipitation des pluies n'est favorisée d'une manière aussi remarquable. Les Antilles n'ont pas assez de largeur pour empêcher les vents et les nuages d'obliquer à droite et à gauche, mais certaines régions reçoivent néanmoins 10 mètres d'eau par an. Dans les Indes, l'entonnoir du golfe d'Uraba en reçoit plus encore. On voit au golfe du Mexique les pluies d'été, presque uniques, donner plus de 4 mètres d'eau à la Vera-Cruz. En nous éloignant des

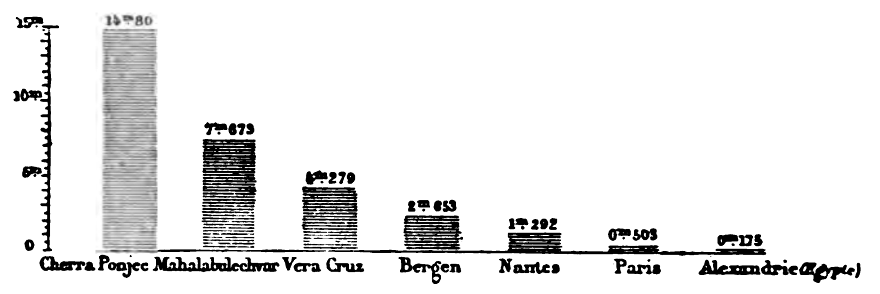
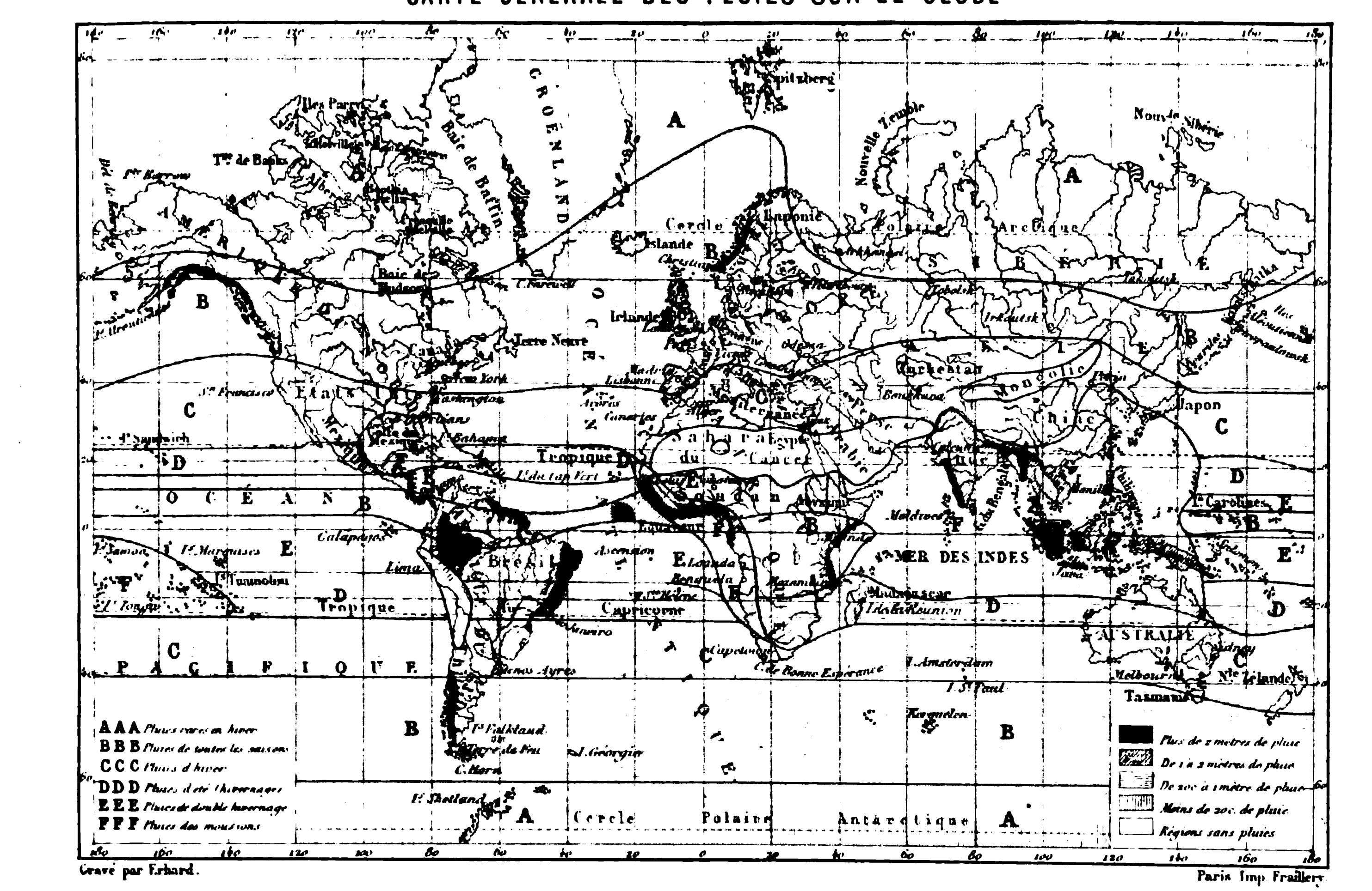


Fig. 192. — Hauteurs des pluies comparées.

régions tropicales, nous ne trouvons plus de curieux maximums de pluie, si ce n'est sur les chaînes de montagnes qui, placées en travers du courant général, l'obligent à se redresser et l'arrêtent; tel est, par exemple, l'effet produit par les Alpes scandinaves, qui séparent la Suède et la Norvége. Le versant occidental de cette chaîne reçoit beaucoup plus d'eau que son versant oriental; à Bergen, il en tombe annuellement 2^{m},65, c'est-à-dire plus qu'en aucune autre ville de l'Europe. Enfin, plusieurs points sont encore spécialement favorisés par leur position maritime ouverte au courant du S. O., comme Nantes, par exemple, qui reçoit 1^{m},29 d'eau pluviale par année moyenne.

En réunissant et comparant les observations faites sur un très-grand nombre de points disséminés à la surface du globe, on a pu constater les trois influences que nous avons passées en revue, marquer sur le planisphère les hauteurs d'eau observées, et tracer

CARTE GÉNÉRALE DES PLUIES SUR LE GLOBE



Gravé par Erhard.

Paris Imp. Fraillery.

la carte des pluies sur le globe entier. On voit par cette carte que la plus intense précipitation de vapeur aqueuse se produit au nord de l'équateur dans l'Atlantique, de chaque côté de cette même ligne dans le Pacifique, et à l'est de l'Amérique. Dans ces mêmes régions, le maximum, la hauteur de pluie supérieure à 2 mètres, se manifeste, en Asie dans les îles de Bornéo, Sumatra, Java, le long des montagnes du Cambodge, de l'Himalaya, des Ghâtes de la côte occidentale du triangle indien; — en Afrique, le long des plateaux de la côte orientale; — dans l'Atlantique, entre la Guinée et la Guyane; dans l'Amérique du Sud, sur les Andes du Chili, au cap Horn, et au sommet, au-dessus du Pérou, qui par contraste est une contrée sans pluie. Enfin, la chaîne de montagnes qui borde l'Amérique du Nord à l'est par 50 et 60 degrés de longitude, montre également un maximum de plus de 2 mètres de pluie annuelle.

Les régions sans pluie se déroulent le long du Sahara, de l'Égypte, de l'Arabie et de la Perse, pour s'étendre jusqu'à la Mongolie et même la Sibérie, à part la région de l'Asie centrale, sur laquelle les moussons et les pluies d'hiver versent un peu de pluie.

Si nous considérons l'Europe en particulier, nous remarquons des pluies relativement abondantes, de 1 à 2 mètres, dans les zones marines du Portugal, de Bretagne, d'Irlande et de Suède. La proportion des pluies diminue graduellement de l'ouest à l'est, avec des zones de condensation produites par les reliefs du sol. Il y a en certains points des régions où les pluies sont fort rares, comme en Grèce, par exemple; le climat de l'Attique est sec et le ciel y est généralement clair; l'air a toujours passé pour le plus pur de la Grèce, et il l'est encore aujourd'hui; un papier a pu être exposé à l'air toute la nuit par M. Lusieri, dont la maison était sur l'emplacement de l'ancien Prytanée, et l'on pouvait tout aussi bien écrire dessus le lendemain matin. On attribue même à cette grande sécheresse de l'air l'étonnante conservation des monuments athéniens.

L'hémisphère boréal reçoit une proportion de pluie plus considérable que l'hémisphère austral, un quart en plus environ. Ce surcroît de pluie est dû surtout à la zone équatoriale boréale des pluies et aux moussons. Cependant notre hémisphère possède beaucoup plus de terre ferme que l'autre, et l'évaporation s'opère sur une échelle beaucoup plus grande dans l'hémisphère austral, presque entièrement occupé par l'océan. Ainsi nos nuages, nos

pluies, nos rivières et nos fleuves sont en grande partie alimentés par l'océan de l'hémisphère de nos antipodes.

La distribution des pluies ayant pour double cause les variations de température et les vents régnants, on conçoit que suivant les contrées elle soit plus ou moins abondante selon les saisons. C'est ce que l'observation a constaté.

Les pays qui ont ce qu'on appelle une *saison de pluies* sont les contrées situées entre les tropiques, et où le soleil, deux fois l'an, passe perpendiculairement sur la tête des habitants, occasionnant en ces jours un excès de chaleur, qui, naturellement, doit se traduire par une raréfaction énergique des couches qui reposent sur le sol, par l'élévation de ces couches devenues trop légères pour porter les couches supérieures, et enfin par le refroidissement et la pluie qui suivent toujours ces effets produits par une cause quelconque. Il est impossible de se faire une idée de la masse d'eau que versent les pluies de saisons dans les bassins de l'Amazone et de l'Orénoque. Après les débordements de ces fleuves et de leurs affluents, à plusieurs dizaines de mètres de hauteur, toute une contrée vaste comme l'Europe devient, à la lettre, une mer d'eau douce, dont l'écoulement dans l'océan le dessale à une grande distance des côtes, et près de laquelle les immenses lacs de l'Amérique septentrionale ne sont que de petits étangs. Dans ce grand dé ploiement des forces physiques, où la nature supérieure et irrésistible dans son action commande l'attention à l'homme dont l'existence est menacée, la science d'observation progresse forcément, et les meilleurs physiciens sont les habitants eux-mêmes, dont la conservation dépend de la connaissance des vicissitudes des saisons.

Ainsi, aux États-Unis, sur l'Atlantique, du 24ᵉ et jusqu'au delà du 40ᵉ degré de latitude, en Espagne, dans le sud de la France, en Italie, en Grèce, en Turquie, en Asie, en Chine, au Japon, dans le Pacifique, sous les mêmes latitudes, les pluies tombent presque entièrement en hiver, à part la région des moussons périodiques; et, sur certains pays méridionaux, des mois entiers se passent en été sans qu'un seul nuage apparaisse dans le ciel. Il en est de même entre le 25ᵉ et le 40ᵉ degré de latitude australe, à Buenos-Ayres, au Cap, à Melbourne.

Sur une zone qui s'étend du 12ᵉ au 25ᵉ degré de latitude sud, sur presque tout le globe aussi, c'est en été que les pluies tombent.

Sur une zone qui s'étend du 40ᵉ au 60ᵉ degré de latitude nord, et qui s'allonge même jusqu'au 75ᵉ, au delà de l'Islande et de la

Suède, pour se rétrécir en Asie, les pluies tombent en toute saison. Cependant il y a encore, dans nos régions si variables, des proportions remarquées pour chaque saison particulière. Ainsi, en considérant la France en particulier, nous voyons qu'on peut la partager en deux parties. La région occidentale a son maximum de pluie en été et son minimum en hiver. L'Angleterre est dans le premier cas. L'Allemagne est dans le second, et sous une forme plus accusée encore. Il en est de même de la Russie.

Nous avons mentionné la quantité de pluie annuelle, $2^m,25$, qui tombe à Bergen, en Norvége. Cette ville forme, sous ce rapport, une exception surprenante dans la météorologie du globe; c'est, dans toute l'Europe, celle où la pluie est la plus abondante. Elle se trouve située au milieu d'une longue baie, exposée au souffle des vents d'ouest, qui sont arrêtés par des montagnes, de sorte que l'eau, suivant la remarque de Kaemtz, en est, pour ainsi dire, mécaniquement exprimée.

On pourra d'ailleurs se faire une idée plus juste du phénomène de la chute et de l'abondance des pluies par le tableau suivant, construit pour les points de l'Europe où il y a le plus grand nombre d'années d'observations :

QUANTITÉS DE PLUIE EN EUROPE PAR SAISON.

LOCALITÉS.	Hiver.	Printemps.	Été.	Automne.	L'annee.	Nombre d'années d'observ.	Hauteur.	Latitude.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.		mètres.	degrés.
Breslau..........	55 7	77 3	139 8	80 0	352 8	56	140	51 6'
Prague...........	56 7	94 0	158 9	79 0	388 6	52	191	50 5'
Upsal............	67 7	74 8	140 9	113 8	397 2	102	—	59 52
Vienne...........	82 5	98 3	164 4	101 4	446 6	15	156	48 13
Saint-Pétersbourg.	74 5	73 4	171 1	129 7	448 7	16	—	59 56
Londres..........	102 1	96 3	143 1	147 7	489 2	62	—	51 31
Berlin...........	112 3	110 4	181 2	117 9	521 8	12	39	52 34
Paris (Ter. de l'Ob.)	104 8	118 0	137 1	142 2	502 1	140	87	48 50
Stockholm........	77 1	83 5	192 5	168 9	522 0	36	41	59 21
Palerme..........	212 8	130 6	32 5	203 8	579 7	24	—	38 8'
Copenhague.......	125 8	116 3	180 8	161 0	583 9	42	—	55 41
Abo..............	119 5	98 6	184 0	199 9	602 0	48	—	60 27
Stuttgart........	106 2	144 0	215 5	149 6	615 3	31	248	48 46
Toulouse.........	130 7	176 6	150 5	168 2	626 0	25	152	43 36
Metz.............	143 1	144 2	183 1	189 6	660 0	22	—	49 7'
Dijon............	145 3	156 3	178 2	216 6	696 4	30	—	47 19
Edimbourg........	147 8	126 1	169 6	188 6	632 1	27	88	55 57
Bruxelles........	163 1	156 6	211 0	193 1	723 7	21	—	50 51
Rouen............	194 1	173 0	181 2	226 2	774 5	26	58	49 26
Gand.............	166 2	164 7	242 0	214 2	777 1	16	11	51 3'
Dublin...........	172 5	149 4	205 3	212 5	739 7	16	—	53 23
Rome.............	236 6	185 2	86 9	276 7	785 4	40	53	51 54
Genève...........	132 6	182 3	228 0	278 4	821 3	29	396	46 12
Montpellier......	232 6	183 7	105 4	300 9	822 6	26	—	43 36
Padoue...........	178 4	187 9	227 7	268 5	862 5	48	—	45 24
Manchester.......	206 5	174 6	250 8	270 2	902 1	47	47	53 29
Florence.........	258 0	217 6	133 7	321 9	931 2	16	64	43 47
Turin............	140 8	287 5	284 5	242 0	954 8	15	279	45 4'
Milan............	205 7	230 4	233 1	298 3	967 5	68	146	45 28
Lausanne.........	154 7	204 6	378 3	283 8	1 021 4	6	507	46 31
Nicolaief........	368 0	231 2	628 5	370 8	1 598 5	6	—	46 58

On peut juger, par les quantités d'eau tombées dans les villes

de Breslau, Prague, Upsal, Vienne, Pétersbourg, combien ces localités donnent annuellement peu de pluies, puisque la valeur ne s'élève pas même à 40 centimètres.

La Néerlande, la Belgique, la France, l'Allemagne, la Pologne donnent 50, 60, 70 centimètres. Il est facile de remarquer que les quantités diminuent en s'éloignant de la mer pour pénétrer dans l'intérieur des terres. Ainsi, les villes de la Belgique donnent au delà de 700 millimètres d'eau, tandis qu'à égalité de latitude

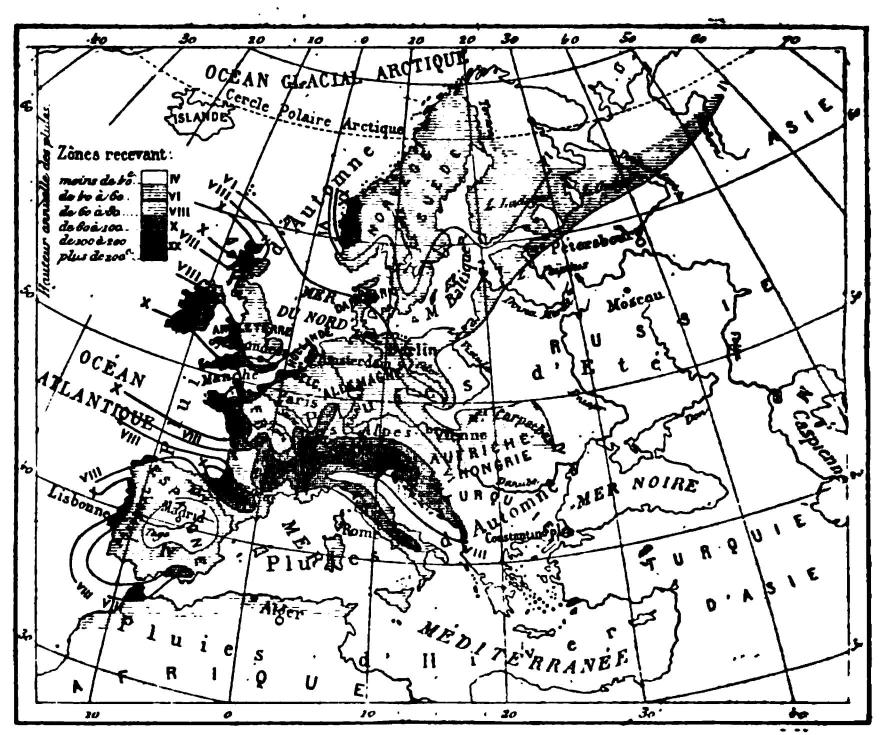


Fig. 192. — Proportion des pluies en Europe.

les villes d'Allemagne et celles qui se rapprochent le plus de l'Asie donnent des quantités moindres. D'une autre part, on peut voir sans difficulté que, dans les différentes localités, quelle que soit leur distance à la mer, les deux saisons les plus pluvieuses sont l'été et l'automne. L'Angleterre, sous ce rapport, est dans une position toute spéciale : elle reçoit, comme entourée de mers, beaucoup plus d'eau que sa latitude ne semblerait l'indiquer.

Telle est l'eau qui tombe annuellement à la surface de l'Europe.

Comment la race humaine, si intelligente et si progressive,

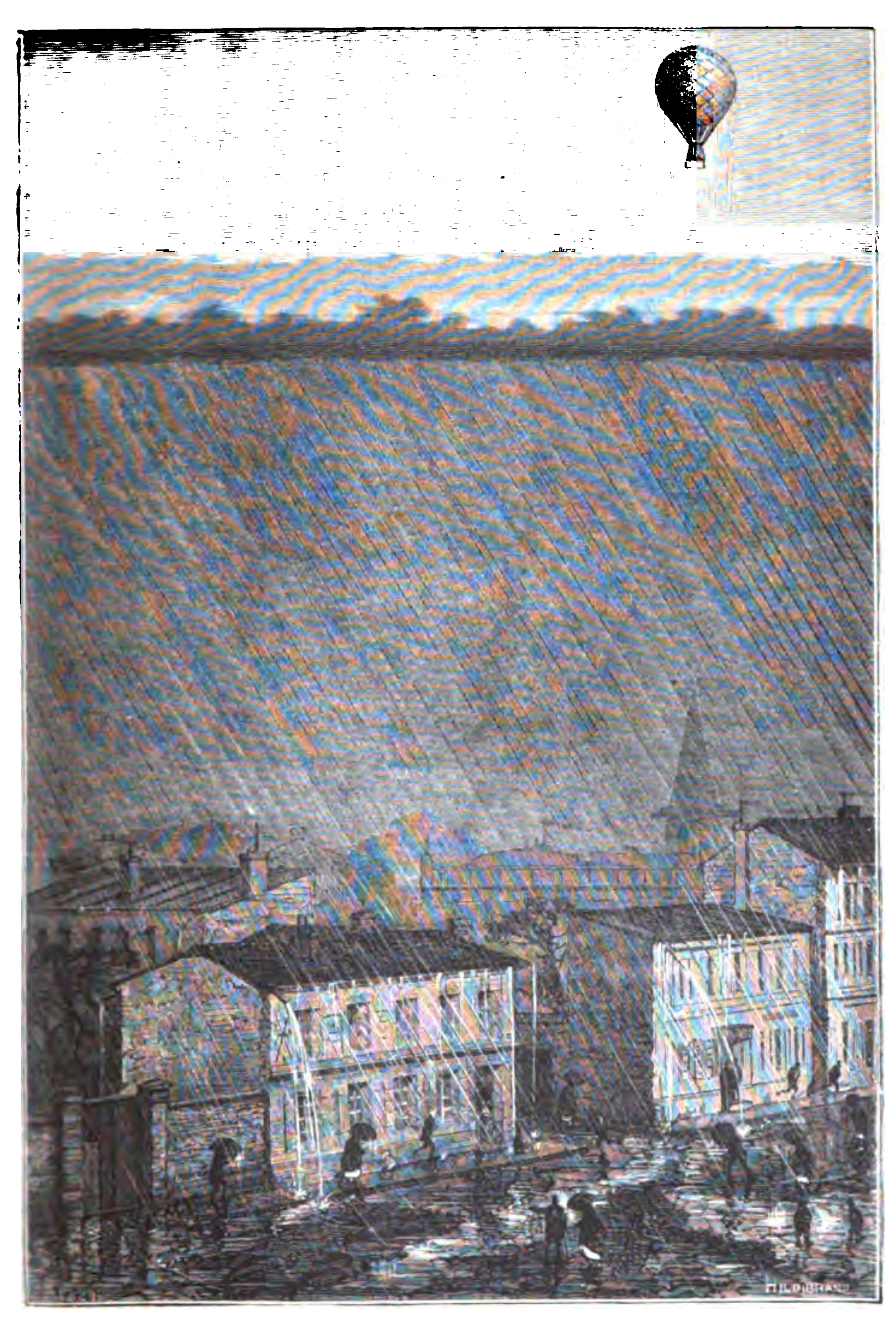


Fig. 194. — Coupe de l'Atmosphère pendant une pluie.

a-t-elle pu rester jusqu'à ce jour dans l'inertie, et consentir à se traîner péniblement, comme elle le fait, aux bas-fonds de l'océan aérien? Avez-vous jamais remarqué, comme elles le mériteraient, ces sombres journées de novembre, pendant lesquelles un rideau impénétrable reste constamment étendu à quelques centaines de mètres au-dessus de nos têtes. Le soleil ne le traverse point. Au lieu de lumière, nous n'avons qu'une clarté grise monotone et attristante; au lieu de la riante couleur des rayons solaires, nous n'avons qu'un manteau sépulcral. La lumière, la gaieté, la vie semblent exclues de la Terre. Les pavés des rues sont glissants, l'humidité est pénétrante, la terre est boueuse, les chemins sont sales, le jour ne se lève pas, le brouillard tombe, un couvercle immense est posé sur la terre, et nous restons dans l'obscurité sinistre des régions inférieures!

Ah! quelle différence lorsque nous pénétrons à travers cette couche de nuages obscurs et que nous la traversons pour planer dans l'atmosphère éclairée et joyeuse! Là-haut règnent constamment la joie et la beauté; le soleil ne s'éteint point, l'azur des cieux ne se laisse point voiler, l'air est sec et transparent, et, en songeant à la tourbe des humains qui, depuis des milliers d'années, consentent à se traîner comme des limaçons sur le sol gluant à travers la brume et l'odeur grossière du noir brouillard, on ne peut s'empêcher de s'étonner que le génie de l'homme ne se soit point encore acclimaté aux régions sereines de l'inaltérable lumière.

Si nous imaginons une coupe de l'Atmosphère pendant une pluie, nous voyons le bas séjour des humains criblé d'une averse diluvienne, bouleversé par le vent, sali de boue, tourmenté par un ridicule désordre, tandis qu'au-dessus de la double couche de nuages, l'aérostat plane dans sa tranquillité lumineuse. — Mais voyons encore spécialement l'état de la pluie en France.

On a parfois supposé la France partagée en cinq régions climatériques : 1° Le climat séquanien, occupant le nord et le nord-ouest, limité au sud par la Loire, Tours, Nevers; à l'est, par les départements de l'Aube et de la Marne. 2° Le climat vosgien, formé des départements de Meuse, Moselle, Meurthe, Haute-Marne, Vosges, Ardennes, Haut-Rhin et Bas-Rhin. 3° Le climat rhodanien, dont la limite ouest est formée par la chaîne du plateau de Langres, de la Côte-d'Or, du Charolais, du Lyonnais, des Cévennes. 4° Le climat méditerranéen, comprenant les Hautes et Basses-Alpes, les Alpes-Maritimes, le Var, les Bouches-du-Rhône, l'Ar-

dèche, le Gard, le Hérault, l'Aude et les Pyrénées-Orientales; en un mot, les rivages de la Méditerranée. 5° Enfin, le climat girondin, occupant tout l'ouest de la France, depuis le Morvan et le Charolais jusqu'à l'Océan et aux Pyrénées.

En considérant séparément la quantité de pluie annuelle afférente à ces cinq divisions, on a le tableau suivant :

CLIMATS.	QUANTITÉ annuelle moyenne.	QUANTITÉ RELATIVE.				ORDRE des saisons eu égard à la quantité de pluie.	NOMBRE des jours de pluie.
		Hiver.	Printemps.	Été.	Automne.		
	mm						
Vosgien.............	669	19	23	31	27	E.A.P.H.	137
Séquanien (presqu'îles except.)	548	21	22	30	27	E.A.P.H.	140
Girondin.....	586	24	21	22	34	A.H.E.P.	130
Rhodanien.................	946	20	24	23	33	A.P.E.H.	107
Méditerranéen..............	651	25	24	11	40	A.H.P.E.	53
	mm						
Moyennes.	681	22	23	22	33		113

Ainsi, la mesure annuelle moyenne de la pluie en France serait représentée par une tranche de 68 centimètres. L'automne en donne 33 pour 100. Il y a en moyenne cent treize jours de pluie par an sur l'ensemble de la France; mais il y a de grandes différences suivant les pays, puisque sur les bords de la Méditerranée on n'en compte que cinquante-trois, tandis que dans le nord et à la latitude de Paris on en compte cent quarante. Le nombre des jours de pluie n'a aucun rapport avec la quantité d'eau tombée.

La quantité de pluie qui tombe annuellement sur deux points voisins appartenant au même canton est souvent très-différente. La cause de ces différences réside dans le relief du sol, dans l'existence de collines ou de vallées dirigeant et accumulant les nuages en des points particuliers qui sont inondés de pluie, tandis que les localités séparées des premières par des collines de 60 ou 70 mètres d'élévation ne reçoivent qu'une quantité d'eau insignifiante. Ces remarques sont probablement la cause pour laquelle certaines cultures réussissent dans des cantons spéciaux et ne donnent que des résultats médiocres dans des cantons voisins.

L'agriculture a donc un intérêt considérable à ce que la distribution des pluies sur la France soit étudiée et connue dans ses moindres détails. En Angleterre, il existe 1000 à 1200 pluviomètres; en France, sur un territoire plus étendu, il n'y a guère

que 550 de ces instruments : nous sommes donc loin d'être aussi avancés que nos voisins d'outre-Manche.

La quantité d'eau qui tombe dans une pluie se mesure à l'aide de l'instrument appelé *pluviomètre* ou *udomètre*. Cet instrument consiste toujours essentiellement en un entonnoir destiné à recevoir l'eau de pluie, et en un réservoir destiné à la conserver jusqu'à ce qu'on la mesure. Dans certains pluviomètres, l'eau se me-

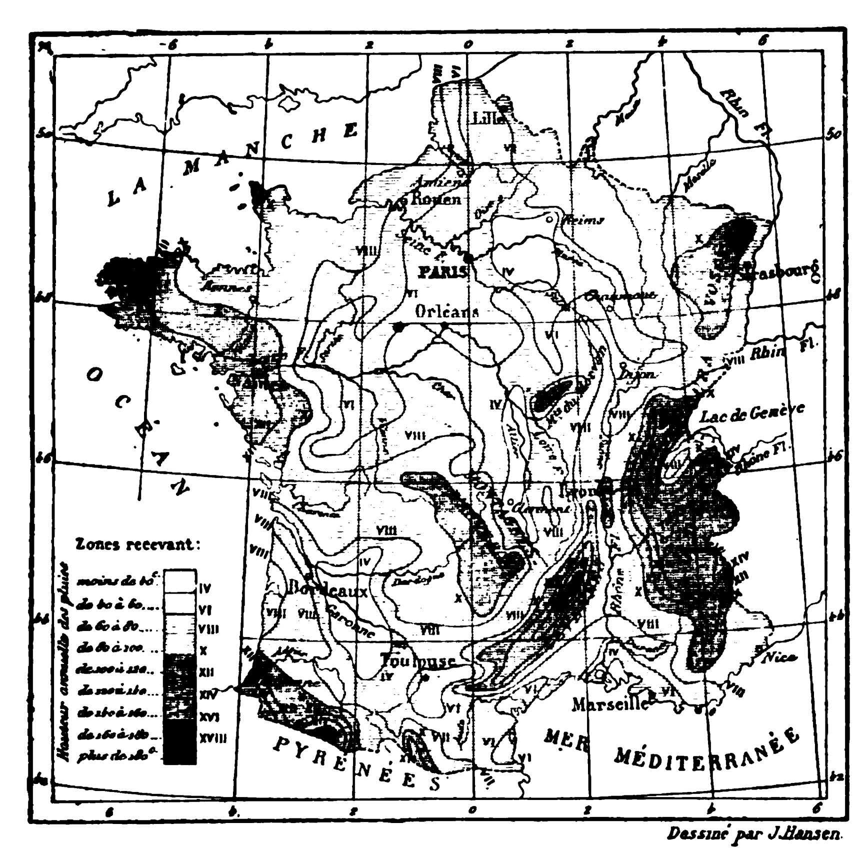


Fig. 195. — Distribution des pluies en France.

sure directement elle-même en passant dans un tube gradué adhérent au réservoir; dans d'autres, un système de bascule fait tomber l'eau, aussitôt qu'elle atteint une certaine quantité, dans un déversoir latéral, et enregistre automatiquement la quantité d'eau tombée. Des différents systèmes employés, le plus simple est encore le plus pratique et le meilleur. L'eau reste dans le réservoir fermé et sans évaporation, et lorsqu'on veut mesurer la

quantité de pluie tombée, on vide l'eau par un robinet dans une éprouvette graduée.

La surface des pluviomètres offre des dimensions variées. Dans le bassin de la Seine, M. Belgrand a opéré à Fatouville sur des appareils dont le plus grand mesurait 25 mètres carrés de surface, et le plus petit 1 décimètre carré seulement. Ceux de 2 décimètres donnent les hauteurs de pluie avec une exactitude suffisante.



Fig. 194.
Pluviomètre de la terrasse de l'Observatoire de Paris.

A l'Observatoire de Paris, il y en a deux : l'un sur la terrasse, l'autre au jardin. Ils mesu-8 décimètres de diamètre. Pendant longtemps, celui du haut présentait chaque fois une différence de 4 à 5 millimètres en moins avec celui du bas, et l'on avait basé là-dessus toute une théorie de l'augmentation des gouttes de pluie pendant leur chute. Ces différences étaient dues à des courants inférieurs, tourbillons, remous qui n'existent plus aujourd'hui.

Le pluviomètre de la terrasse, situé dans la petite construction terminée par un toit conique que l'on voit vers la gauche (p. 527), est à 27 mètres au-dessus du sol, c'est-à-dire à 86 mètres au-dessus du niveau de la mer. Il a été établi en 1785, et a fourni chaque année, depuis cette époque, la quantité d'eau tombée annuellement à Paris.

Celui de la cour a été établi en 1817.

Ce n'est pas seulement de la fin du siècle dernier qu'on mesure l'eau tombée à l'Observatoire de Paris. On lit dans l'*Histoire de l'Académie* qu'en 1690, le roi d'Angleterre, monté sur la terrasse de l'Observatoire, remarqua les pluviomètres carrés où l'on constatait la quantité d'eau tombée dans les pluies.

Comme nous l'avons déjà vu, il tombe en moyenne 50 centimètres d'eau par an sur la terrasse, distribuée mensuellement comme il suit :

PROPORTION DES PLUIES PAR MOIS SUR LA TERRASSE DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS.

	mm.
Janvier	33
Février	30
Mars	30
Avril	35
Mai	52
Juin	51
Juillet	40
Août	45
Septembre	47
Octobre	48
Novembre	47
Décembre	41
Moyenne annuelle	500
La moyenne mensuelle est de	41mm,7
La moyenne diurne est de	1mm,37

Un fort maximum se manifeste comme on voit par les averses abondantes de mai et juin, puis par les longues journées pluvieuses d'octobre et novembre. Le minimum est très-prononcé en février et mars.

Le caractère d'une année au point de vue des récoltes et des productions de la terre dépend bien plus de la répartition des pluies sur les divers mois que de leur quantité totale. Ainsi, l'année 1866 a été la plus humide depuis un siècle, car il est tombé 64 centimètres d'eau au même pluviomètre. La mauvaise qualité du vin a été due surtout aux pluies du mois d'août (79 mill.) et de septembre (92 mill.). Si la pluie manque, au contraire, dans les mois d'avril et mai, comme en 1870, ce sont les fourrages qui sont sacrifiés.

D'après une moyenne de trente ans à l'Observatoire de Bruxelles, on constate que là, c'est le mois d'août qui donne le plus de pluie et le mois de mars qui en donne le moins. Ces deux termes sont équidistants; ils semblent liés par une loi de continuité, par une espèce de croissance et de décroissance des nombres inter-

médiaires. Cependant le mois de septembre fait exception: il donne moins d'eau qu'il ne semblerait devoir le faire d'après la loi de continuité.

Le mois d'août est aussi celui qui a donné moyennement le plus de jours de pluie; c'est encore le mois qui a donné pendant sa durée la plus forte quantité d'eau; en 1850, on en a mesuré 206 millimètres. Pendant la même période de trente ans, août a donné sept fois plus de 100 millimètres d'eau pendant sa durée; les mois, estimés d'après les pluies les plus abondantes qu'ils aient données, présentent l'ordre suivant:

La quantité de pluie a dépassé 100 millimètres :

7 fois en août, en trente ans.
5 — juin.
4 — octobre.
3 — juillet, mai, novembre, décembre.
2 — septembre, avril, mars.
1 — janvier.
0 — février.

C'est donc généralement pendant les mois les plus chauds que l'on a compté le plus de pluies abondantes, et le contraire a eu lieu pendant les mois les plus froids; on n'a compté qu'une seule pluie semblable en janvier, et l'on n'en a pas observé du tout pendant le mois de février qui est le seul de l'année présentant une pareille exception.

Il est remarquable, du reste, qu'en considérant les mois relativement à la quantité d'eau qu'ils ont donnée pendant les pluies, on trouve au-dessous de la valeur moyenne les six mois d'hiver et de printemps ; et, au-dessus de la même moyenne, les six mois d'été et d'automne. La moyenne de l'année donne, en effet, 1mm,95 pour la quantité d'eau tombée par jour, et l'on a pour les douze mois :

	Moyenne mensuelle.	Moyenne par jour. mm.		Moyenne mensuelle.	Moyenne par jour. mm.
Décembre	56	1,80	Juin	67	2,24
Janvier	55	1,80	Juillet	68	2,21
Février	47	1,70	Août	72	2,33
Mars	50	1,61	Septembre	61	2,02
Avril	51	1,69	Octobre	67	2,16
Mai	56	1,83	Novembre	60	2,02
Moyennes	53	1,74	Moyennes	66	2,16

La marche des nombres est assez égale pendant le premier semestre; mais il n'en est pas tout à fait de même pour le semestre suivant, surtout à cause de l'inégalité que présente le mois de septembre, dont la valeur, égale à celle de novembre, est cependant bien inférieure à ce qu'elle semblerait devoir être.

La moyenne annuelle est de 712 millimètres.
La moyenne mensuelle des six mois d'été est de 66 millimètres.
La moyenne mensuelle des six mois d'hiver est de 53 millimètres.
La moyenne diurne d'été est 2mm,16.
La moyenne diurne d'hiver est 1mm,74.
Et la moyenne diurne générale est 1mm,95.

La quantité moyenne d'eau de pluie tombée dans le courant de l'année, la durée des pluies, le nombre d'heures de pluie par jour, enfin le nombre de pluies dis-

tinctes par jour de pluie, ont fait l'objet d'observations spéciales à l'Observatoire national de Belgique. Voici le tableau qui les résume :

MOIS.	HAUTEUR DE PLUIE EN GÉNÉRAL. de pluie par heure.	en général par jour.	DURÉE moyenne des pluies.	NOMBRE MOYEN d'heures de pluie par jour en général.	de pluies par jour en général.	de pluies par jour de pluie.
	mm	mm	h	h	h	h
Janvier	0 49	1 82	2 8	3 5	1 25	2 41
Février	0 65	1 85	3 9	2 9	0 75	1 35
Mars	0 58	1 74	4 2	3 0	0 71	1 34
Avril	0 73	1 63	3 7	2 2	0 60	1 17
Mai	0 98	1 53	2 5	1 6	0 64	1 47
Juin	1 12	2 00	2 5	1 8	0 72	1 49
Juillet	1 37	2 23	1 9	1 6	0 84	1 61
Août	1 53	2 52	2 9	1 6	0 55	1 10
Septembre	1 01	2 01	3 0	2 0	0 67	1 39
Octobre	0 93	2 16	2 9	2 3	0 79	1 41
Novembre	0 64	2 14	3 6	3 3	0 92	1 56
Décembre	0 52	1 86	3 6	3 5	0 97	1 51
Moyenne	0 88	1 96	3 1	2 4	0 78	1 48

On remarque d'abord sur ce tableau que la hauteur de pluie en général, par heure ou par jour, est la plus grande en été. L'ordre des mois est le suivant : août, juillet, juin, septembre, mai, octobre, avril, février, novembre, mars, décembre, janvier.

La *durée moyenne* des pluies a été estimée en divisant la durée totale des pluies de toute la période par le nombre de ces pluies. C'est vers les mois de mars et de février que les durées des pluies sont les plus longues, et elles diminuent à mesure qu'on s'éloigne de ces époques. L'ordre des mois est le suivant : mars, février, avril, novembre, décembre, septembre, octobre, août, janvier, mai, juin, juillet.

En rapprochant ces résultats de ceux des deux colonnes précédentes on peut dire, en général, que les époques de l'année qui donnent les pluies les plus abondantes sont, par compensation, celles dont les pluies ont la plus courte durée.

Le *nombre moyen d'heures de pluie par jour en général* mérite également de fixer notre attention. Les valeurs calculées dans la cinquième colonne du tableau précédent l'indiquent d'une manière assez régulière, comme on peut le voir sans peine. Il pleut en été, terme moyen, pendant un peu plus d'une heure et demie par jour, et pendant près de trois heures et demie en hiver.

Notre savant maître et ami le directeur de l'Observatoire de Bruxelles a eu également l'ingénieuse pensée d'observer spécialement l'heure du commencement habituel des pluies. Le résultat ne manque pas d'intérêt. L'heure moyenne pour le commencement, est à peu près midi et demi ; et pour la fin, $3^h,52^m$ de l'après-midi. Ces heures se maintiennent assez bien pendant tout le cours de l'année.

C'est de 2 à 3 heures après midi qu'on a compté le plus de pluies : ce résultat, même malgré la faiblesse des nombres, se confirme pour le printemps, l'été et l'automne ; les nombres relatifs à l'hiver semblent moins concluants. Cependant si, au lieu de prendre les heures séparément, on les groupe par trois, de manière à partager le jour en huit parties, on trouve une loi facilement saisissable et qui se confirme presque sur tous les mois pris individuellement. C'est de midi à trois heures du soir que les pluies commencent le plus fréquemment, quelle que soit a saison ; cette loi est plus prononcée en été qu'en hiver, et c'est à peu près à

douze heures de distance, ou bien de minuit à trois heures du matin, que se présente le minimum.

D'après ces résultats on voit que :

1° Le nombre des pluies présente un maximum entre midi et six heures du soir, et un minimum au contraire entre minuit et six heures du matin ; les deux autres périodes donnent des valeurs moyennes, à peu près égales, entre ces deux valeurs extrêmes.

2° On obtient des conclusions analogues pour le produit des pluies comprises entièrement dans un intervalle de six heures : le maximum s'observe de midi à six heures du soir, et le minimum de minuit à six heures du matin.

3° Le produit total des eaux tombées classe ainsi qu'il suit les périodes où les pluies ont commencé : midi à six heures du soir, six heures du soir à minuit, six heures du matin à midi, minuit à six heures du matin.

4° Les quantités de pluie qui tombent le jour, entre six heures du matin et six heures du soir, sont un peu plus grandes que celles qui tombent la nuit, entre six heures du soir et six heures du matin. Mais de midi à minuit, la prépondérance des pluies est très-manifeste, tant pour leur nombre que pour leur produit.

En résumé, il pleut davantage la nuit que le jour, et inversement il pleut plus souvent de jour que de nuit. Cette double remarque a été faite également par Bérigny, à Versailles, et par d'Hombres-Firmas, à Alais (Gard), pour trente-cinq ans d'observation.

Les relevés faits pour chaque heure du mois à l'Observatoire royal d'Angleterre par M. Glaisher de 1861 à 1867 montrent que les pluies *les plus fréquentes* arrivent :

En hiver pendant les six heures qui précèdent et les trois heures qui suivent midi ; — au printemps pendant les trois heures qui suivent midi ; — en été pendant les trois heures qui suivent six heures du soir, et en automne pendant les six heures de l'après-midi.

Les pluies *les moins fréquentes* arriveraient au contraire : En hiver pendant les trois heures qui précèdent minuit; au printemps de six à neuf heures du soir ; — — en été de six heures du matin à midi, et en automne de neuf heures à midi.

Une dernière remarque sur la *vitesse des gouttes de pluie.*

Il n'est personne qui, voyageant en chemin de fer et observant un peu, n'ait remarqué que la pluie en tombant trace des lignes obliques très-inclinées lorsque le train est animé d'une grande vitesse. En effet, en supposant que les gouttes de pluie tombent verticalement en réalité — ce qui a lieu lorsqu'elles sont assez lourdes ou que le vent est faible — la fenêtre du compartiment produit en se déplaçant un effet facile à apprécier. Une goutte qui paraît par exemple vers le haut du bord antérieur de la fenêtre, ne tracera pas une ligne verticale parallèle à ce bord, mais une oblique résultante de deux forces composantes : 1° la vitesse propre de la goutte ; 2° celle du wagon. Si la goutte était immobile, la ligne projetée par elle derrière la vitre serait horizontale. Ordinairement cette ligne, en la supposant commencer à l'angle supérieur du rectangle qui marche le premier, vient couper le côté vertical opposé vers le bas. La distance de ce point au sommet de l'angle supérieur représente la *vitesse de la pluie* et le côté horizontal celle du wagon. Le rapport de ces deux lignes $\frac{v}{v}$ donne celui des vitesses. Celle du train étant connue, l'autre se détermine facilement. Par ce moyen aussi simple qu'ingénieux, le commandant Rozet a trouvé que la pluie tombe en moyenne avec une vitesse de 11 mètres par seconde, vitesse bien faible, si l'on songe à la hauteur de chute.

CHAPITRE IV.

LES GRANDES PLUIES ET LES INONDATIONS.

PLUIES FERTILISANTES. PLUIES DESTRUCTIVES.
RÉGIME DES COURS D'EAU. SOURCES ET FONTAINES. — PLUS GRANDE QUANTITÉ D'EAU TOMBÉE DANS UNE AVERSE. — LES ANNÉES PLUVIEUSES.

« Le Soleil, écrivait Louis-Napoléon Bonaparte avant d'être au pouvoir, le Soleil absorbe les vapeurs de la Terre pour les répartir ensuite à l'état de pluie sur tous les lieux qui ont besoin d'eau pour être fécondés et pour produire. Lorsque cette restitution s'opère régulièrement, la fertilité s'ensuit; mais lorsque le ciel, dans sa colère, déverse partiellement en orages, en trombes et en tempêtes, les vapeurs absorbées, les germes de production sont détruits, il en résulte la stérilité, car il donne aux uns beaucoup trop et aux autres pas assez. Cependant, quelle qu'ait été l'action bienfaisante ou malfaisante de l'Atmosphère, c'est presque toujours, au bout de l'année, *la même quantité d'eau,* qui a été prise et rendue. La *répartition* seule fait donc la différence. Équitable et régulière, elle crée l'abondance; prodigue et partiale, elle amène la disette.

« Il en est de même des effets d'une bonne ou mauvaise administration. Si les sommes prélevées chaque année sur la généralité des habitants sont employées à des usages improductifs, comme à créer des places inutiles, à élever des monuments stériles, à entretenir, au milieu d'une paix profonde, une armée plus dispendieuse que celle qui vainquit à Austerlitz, l'impôt dans ce cas devient un fardeau écrasant; il épuise le pays, il prend sans ren-

dre; mais si au contraire ces ressources sont employées à créer de nouveaux éléments de production, à rétablir l'équilibre des richesses, à détruire la misère en activant et organisant le travail, à guérir enfin les maux que notre civilisation entraîne avec elle, alors certainement l'impôt devient pour les citoyens, comme l'a dit un jour un ministre à la tribune, le meilleur des placements. » (*Extinction du paupérisme*, 1844, chap. I.)

Ainsi parlait le candidat au trône de France lorsqu'il était encore sous les verrous du fort de Ham. En attendant qu'une république intelligente et forte réalise ce beau rêve, gardons toujours la comparaison très-judicieuse que nous venons de reproduire, et apprécions-en la réalité sans sortir du sujet même qui l'a inspirée.

La pluie, en effet, verse le bien ou le mal, la fécondité ou la stérilité, l'abondance ou la misère. Elle couronne dignement le travail du cultivateur, ou bien elle le paye d'ingratitude et trompe ses plus chères espérances.

Ce n'est pas seulement par l'humidité qu'elle répand dans le sol que la pluie alimente les végétaux; elle leur apporte avec elle une certaine quantité d'ammoniaque d'où ils tirent de l'azote, gaz indispensable à leurs progrès; elle introduit avec elle, dans la terre végétale, le détritus des animaux et des végétaux, qui se consument sans utilité pour la végétation, dans les pays où il ne pleut pas; en humectant les engrais que le cultivateur enfouit dans le sol, elle facilite leur absorption par les plantes; enfin, il est probable que c'est par la décomposition de l'eau qu'ils aspirent, que les végétaux se procurent une grande partie de leur hydrogène.

L'ammoniaque si volatil qui existe constamment dans l'atmosphère est ramené sur la terre végétale par les pluies, et surtout par les pluies d'orage qui constituent aussi un puissant moyen d'engrais. Un litre d'eau de pluie contient en moyenne 8 dixièmes de milligramme d'ammoniaque : c'est quatre fois et demie plus que l'eau de rivière n'en contient, et neuf fois plus que l'eau de source et de puits. La faculté que possède la terre végétale de fixer l'ammoniaque de l'eau qui la pénètre explique du reste comment en général les eaux de source en sont privées. Quelque minimes qu'elles soient, ces quantités d'ammoniaque finissent cependant par être considérables[1]. Ainsi, par exemple, le Rhin débite à Lauterbourg 1106 mètres cubes d'eau par seconde en

1. En évaluant la quantité d'ammoniaque à 136 millièmes du poids de l'air, on calcule que l'air qui recouvre chaque *hectare* de terrain pesant 103 329 858 kilogrammes, contient, prêt à être déposé, 137 429 kilogrammes d'ammoniaque.

moyenne; par jour il n'entraîne pas moins de 17000 kilogr. d'ammoniaque, c'est-à-dire plus de 6 millions de kilogrammes par an. La neige renferme encore plus d'ammoniaque que l'eau de pluie, parce qu'en restant à la surface du sol elle absorbe celui qui s'en dégage; on lui trouve parfois jusqu'à 10 milligrammes par litre lorsqu'elle a séjourné. Le brouillard en contient en proportions plus considérables encore, car M. Boussingault a trouvé jusqu'à 2 décigrammes de carbonate ammoniacal dans 1 litre d'eau provenant d'un fort brouillard odorant. Pour en revenir à la pluie, il est utile d'ajouter que les premiers instants des averses sont ceux qui rendent à la terre le plus de sels volatils, comme on le devine facilement, puisqu'ils le puisent dans l'air; plus la pluie est longue et moins elle en renferme proportionnellement. Ainsi, un demi millimètre de hauteur d'eau a donné en moyenne 2,94 milligrammes d'ammoniaque; 1 millimètre en a donné 1,37; 5 millimètres 0,70; 10 millimètres 0,43; 20 millimètres 0,36 par millimètre.

Rendons-nous compte maintenant de la marche des eaux pluviales à la surface du sol. Ou le terrain est perméable ou il est imperméable. Dans le premier cas, l'eau pénètre plus ou moins profondément et imbibe la terre comme une éponge. Dans le second, elle pénètre à peine, ne mouille que la surface, et glisse suivant les pentes en inondant tout sur son passage. Les terrains perméables toutefois ne s'imbibent pas jusqu'à une grande profondeur, car une grande partie de l'eau tombée dans les fleuves se vaporise de nouveau ou descend obliquement pour glisser suivant les pentes. Il faut plus d'une journée de pluie continuelle, dit M. Rozet, pour mouiller à 2 décimètres le sol arable cultivé de la Touraine; et après les plus grandes pluies continuées pendant plusieurs jours de suite, le sol n'est pas mouillé au delà de 1 mètre. Les réservoirs souterrains qui criblent la terre de conduits d'eau semblables à des veines ne proviennent pas des eaux pluviales qui ont traversé les terres, mais de celles qui, tombées sur les rochers, passent entre les fissures des pierres sans être absorbées.

Le régime des cours d'eau est bien différent, suivant qu'ils coulent sur des terrains perméables ou sur des terrains imperméables. La Seine et la Saône, par exemple, ont un cours lent et tranquille; leurs eaux montent lentement et descendent plus lentement encore; car les terrains de leurs bassins sont perméables dans presque toute leur étendue. La Loire au contraire est un fleuve essentiellement torrentiel dans toute sa partie supérieure où les terrains imperméa-

bles par nature ou par position l'emportent beaucoup sur les terrains perméables. Toute la région nord-ouest de la France présente une homogénéité de climat remarquable ; le bassin de la Seine en particulier est soumis tout entier aux mêmes influences atmosphériques sous le rapport de la pluie. Il en résulte que le niveau de tous les cours d'eau monte et baisse aux mêmes époques et que, suivant l'expression de M. Belgrand, on peut prévoir une crue d'un ruisseau du Morvan au moyen d'observations faites sur un ruisseau de Normandie. La Loire, la Saône, la Meuse, la Seine entrent toujours en crue en même temps pendant la saison humide. Pendant la saison sèche les pluies sont plus locales, et les crues qu'elles produisent sur un bassin peuvent manquer entièrement sur un autre.

Pour mesurer la hauteur des eaux, on a coutume de placer aux piles des ponts des échelles métriques graduées de bas en haut.

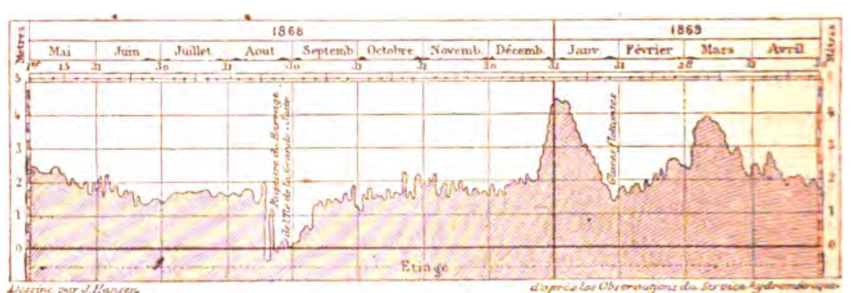


Fig. 197. — Hauteur de la Seine à Paris (pont Royal) pendant une année, du 1er mai 1868 au 30 avril 1869.

Nota. *Les variations brusques de niveau sont dues aux écluses d'Yonne et de Seine.*

Le point de départ ou zéro de ces échelles se place, en France, au niveau des eaux prises à l'époque des plus grandes sécheresses connues : c'est ce que l'on nomme l'étiage ou niveau des plus basses eaux d'été. Ce point n'est pas rigoureusement fixé, et il n'est pas très-rare qu'à Paris par exemple les basses eaux descendent au-dessous. L'étiage forme la base de l'échelle du pont de la Tournelle ; au Pont-Royal, le zéro se trouve 60 centimètre au-dessus.

La hauteur moyenne de la Seine à Paris est de 1m,24 ; cette hauteur s'élève en moyenne, en hiver à 2m,01, au printemps à 1m,51, en été à 0m,65, et en automne à 0m,83. Les plus basses eaux de la Seine depuis un siècle ont été celles du 13 septembre 1803 : 26 centimètres au-dessous de l'étiage. Les plus hautes ont été celles de 1802 : 7m,45, et de 1836 : 6m,40. Son volume d'eau est en moyenne de 250 mètres cubes par seconde ;

à l'étiage, il est réduit à 75; il s'est élevé à 1400 à la plus grande crue connue, celle de 1615, à 8^m,4 de hauteur. Les inondations de la Seine étaient assez fréquentes pendant les siècles passés. La cause principale de leur diminution graduelle constatée vient de ce que le fleuve est aujourd'hui beaucoup mieux tenu qu'autrefois et que les débris qui l'encombraient ont disparu. Les ponts sont plus larges, et tandis qu'autrefois leurs arches étroites formaient de véritables barrages après les gelées, aujourd'hui les débacles s'opèrent sans dangers. A cette cause mécanique s'en ajoute une météorologique, c'est qu'actuellement le nord-ouest de la France est un peu plus sec qu'aux siècles précédents. De 1857 à 1866 la Seine est descendue tous les ans au-dessous de l'étiage.

Les inondations n'ont jamais d'autre origine que les pluies du ciel trop promptement écoulées dès qu'elles tombent, ou les fontes des neiges et des glaces lorsqu'elles sont à la fois très-abondantes et subites. L'eau qui tombe sur le bassin d'un fleuve étant forcée de s'écouler par lui à la mer, le fait déborder lorsqu'elle dépasse son lit. Le bassin de la Seine, par exemple, mesure 44 000 kilomètres carrés de superficie, et reçoit annuellement 28 milliards de mètres cubes de pluie. En enlevant 50 °/₀ pour l'évaporation, il reste 14 milliards de mètres cubes qui approvisionnent tous les cours d'eau de ce bassin pendant un an, et dont l'écoulement disproportionné amène les inondations.

On s'imagine en général que la masse d'eau qui tombe en pluies chaque année est insuffisante pour alimenter les vastes cours d'eau que nous offrent les divers bassins physiques qui partagent le globe. Nous savons dans plusieurs localités combien il tombe d'eau par an : en tenant compte de l'étendue de la contrée ainsi arrosée, on trouve beaucoup plus d'eau qu'il n'en faudrait pour alimenter les rivières. Du reste, l'évaporation des terrains humectés doit renvoyer immédiatement dans l'Atmosphère la majeure partie de l'eau qui tombe, et qui en général pénètre peu dans la terre quand celle-ci n'est pas très-sablonneuse ou caillouteuse. Cette masse d'eau, dont le poids mathématique confond l'imagination, reste donc toujours ballottée entre le sol et les hauteurs aériennes, tombant sans cesse en pluie pour remonter sans cesse en vapeur, retombant et remontant indéfiniment.

Admettons, ce qui reste sans doute au-dessous de la vérité, que l'ensemble des pluies annuelles sur toute la surface de la Terre formerait, autour du globe, une couche de 50 centimètres d'épaisseur, si les infiltrations d'un côté, si l'évaporation de l'autre ne

desséchaient le sol à leur tour après chaque pluie. Nous trouverons aisément pour le volume de cette couche avec le rayon moyen du globe égal à 6 362 200 mètres le nombre 63 687 546 691 423 mètres cubes d'eau; soit, par jour, 175 milliards de mètres cubes que l'évaporation doit rendre à l'Atmosphère, d'où, en divisant le nombre précédent par 86 400 (nombre de secondes qu'il y a par jour), nous aurons pour la quantité moyenne d'eau réduite en vapeur, *dans chaque seconde*, par l'action calorifique du Soleil : deux millions vingt-cinq mille mètres cubes, c'est-à-dire un peu plus de deux milliards de litres d'eau !

Les fontaines ne sont autre chose que des eaux de pluie infiltrées dans des terrains sablonneux ou perméables, et arrêtées par des couches impénétrables de roc, de craie ou d'argile, sur lesquelles elles glissent jusqu'à ce qu'elles trouvent dans la pente une issue où elles viennent sourdre. C'est ainsi que les eaux des puits forés nous arrivent, entre deux couches imperméables, des extrémités de la Champagne, à plusieurs centaines de kilomètres de Paris. On a beaucoup écrit sur les fontaines qui se trouvent placées au sommet de certaines collines ou montagnes, et notamment sur les trois ou quatre fontaines indigentes d'eau qui se voient sur la butte Montmartre. Tout calcul fait, la quantité de pluie tombée sur cette petite localité, d'après les indications des pluviomètres, est plus que suffisante pour alimenter ces maigres sources, et là comme ailleurs on peut même se demander ce que devient le surplus.

Bernard Palissy avait imaginé de former des sources artificielles identiques à celles de la nature. Deux hectares dans la France, et notamment dans les environs de Paris, reçoivent à peu près par an 10 000 mètres cubes d'eau, dont la moitié peut être utilisée pour la fontaine artificielle, c'est-à-dire environ 5000 mètres cubes. Or ce que les fontainiers appellent *pouce d'eau* est une fontaine qui fournirait aisément aux besoins de deux forts villages, hommes et bestiaux. Une fontaine donnant *un demi-pouce* d'eau fournit par an 3650 mètres cubes d'eau (à raison de 20 mètres cubes par jour pour le pouce d'eau). C'est beaucoup moins que les 5000 mètres cubes d'eau de pluie que l'on peut utiliser avec deux hectares, en admettant une perte de moitié. Il faudrait donc bien moins de deux hectares préparés, pour obtenir infailliblement une belle et utile fontaine.

Pour cela, dit M. Babinet, choisissez un terrain de un hectare et demi, dont le sol soit sablonneux comme les bois qui entourent Paris, et qui offre une légère pente vers un côté quelconque pour fournir un écoulement aux eaux. Faites dans toute sa longueur et au plus haut une tranchée de $1^m,50$ à 2 mètres de profondeur sur environ 2 mètres de large. Aplanissez le fond de cette tranchée et rendez-le imperméable par un pavé, un macadamisage, un fond de bitume, ou, ce qui est plus simple et moins coûteux, par une couche de terre glaise, substance commune dans les environs de Paris. A côté de cette tranchée, faites-en une autre pareille dont vous rejetterez la terre pour combler la première, et ainsi de suite jusqu'à ce

que vous ayez pour ainsi dire rendu tout le sous-sol de votre terrain imperméable à l'eau de pluie. Plantez le tout d'arbres fruitiers et surtout d'arbres à basse tige, qui ombragent le terrain sablonneux et arrêtent les courants d'air qui tendraient à réabsorber la pluie; enfin pratiquez dans la partie la plus basse du terrain une espèce de mur ou contre-fort en pierre avec une issue au milieu. Vous aurez infailliblement une bonne et belle source qui coulera sans intermittence et suffira aux besoins d'un village entier ou d'un vaste château.

Ce que le spirituel académicien proposait en 1855, un habile constructeur l'a réalisé ces années dernières à Sèvres, où j'ai vu une ingénieuse source artificielle, préférable aux naturelles par la préparation des terrains, et qui marchait à volonté par un tour de robinet.

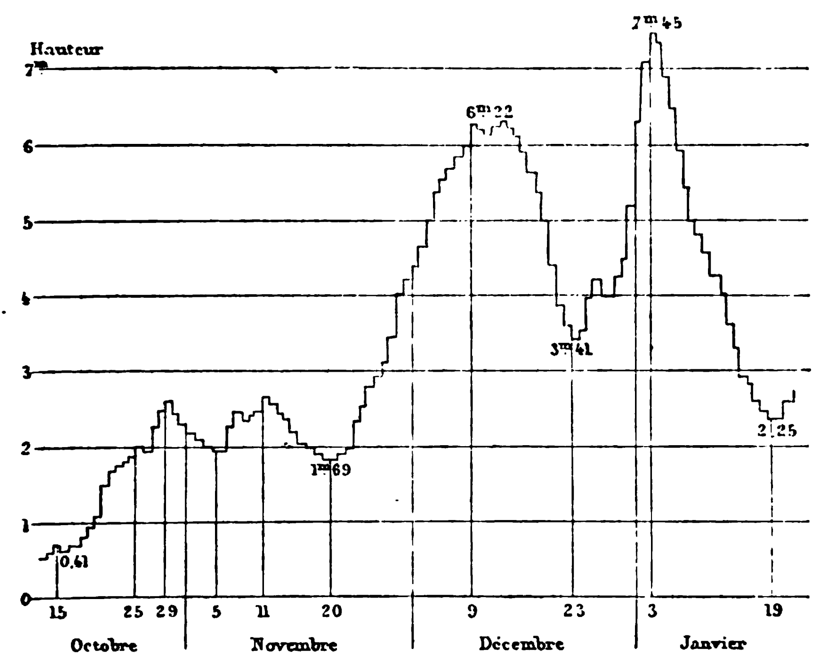


Fig. 198. — Courbe d'une grande crue de la Seine. Hiver de 1801-1802.

Les crues extraordinaires, les débordements et inondations proviennent du régime de la pluie sur les différentes régions du bassin. Les pluies peuvent être longues et abondantes et ne produire qu'une crue ordinaire : leur répartition l'organise. Si l'Yonne, la Marne, l'Aube, l'Armançon, le Serein, le Cousin, le Loing reçoivent en même temps un surcroît de pluie et apportent en même temps à la Seine déjà grossie elle-même leur contingent triplé, le débit du fleuve à Paris subira un accroissement exceptionnel quoique les crues des cours d'eau n'aient rien d'exceptionnel séparément. Ainsi, la plus forte crue de la Seine en notre siècle est celle de l'hiver de 1801-1802, qui a commencé le 15 octobre et s'est terminée le 19 janvier après avoir duré 96 jours. J'en reproduis la

carte ici d'après le bel ouvrage de M. Belgrand, sur *la Seine*. Ce qu'elle a de remarquable, c'est qu'elle n'est due à aucun phénomène météorologique extraordinaire, mais simplement à la succession, à courts intervalles, des crues de quinze affluents calculées par M. Belgrand, crues qui se sont succédé encore en trois fois, comme on le voit, et qui, si elles avaient eu lieu à la fois, auraient pu faire monter la Seine à 15 ou 20 mètres au lieu de 7m,45.

Par un autre exemple, si nous considérons une crue arrivée en septembre 1866 aux affluents de la Seine et de l'Yonne, nous voyons que cet énorme débordement, qui a causé d'incalculables ravages dans le val de la Loire, et a été médiocre à Paris, a été produit par une pluie torrentielle de trente heures sur les parties hautes du bassin de la Seine : il est tombé de 81 à 151 millimètres d'eau dans la haute Yonne, et seulement de 44 à 86 dans le bassin de la Marne et de la Seine en amont de Paris.

Les grandes inondations de 1856, dont on se souvient encore avec effroi, et qui ont répandu la mort et la ruine sur les deux riches et immenses bassins de la Loire et du Rhône, ont été dues à l'abondance des pluies glissant sur leurs terrains imperméables. Le Rhône et la Saône ont des régimes tout à fait différents. La Saône, lente, voit son niveau mensuel varier avec les saisons, descendre de 2m,29 (janvier) à 0m,53 (août), tandis que le Rhône, rapide et constant, ne varie, à Lyon même où nous prenons ces mesures, que de 1m,44 (septembre) à 0m,85 (janvier) où il est le plus bas. Quoiqu'il soit vers sa plus grande hauteur en été, ses débordements arrivent plutôt, sous l'influence de la Saône, de novembre à mai. Il est difficile d'opposer à ces inondations des digues efficaces. La Loire, qui jadis mesurait 3500 mètres de largeur devant Orléans, a été réduite par ses digues à un lit de 280 mètres; à Jargeau, elle n'a que 250 mètres de large là où elle avait autrefois pour s'épancher latéralement un espace de 7000 mètres. Aussi s'ouvrit-elle, en 1856, 73 brèches à travers ces levées : dès que la hauteur de crue s'élève à plus de 5 mètres, les crevasses deviennent inévitables.

Les inondations du Rhône ont eu lieu à la fin de mai. Une abondance inusitée de pluies pendant ce mois avait amené, vers le 20, une crue générale dans toute la France, qui n'était que le prélude des débordements qui allaient inonder surtout le midi, les rives du Rhône et de la Loire. Le 31, le Rhône à Lyon ressemblait à un torrent impétueux, et les parties basses de la ville étaient inondées; l'eau montait en certains endroits jusqu'aux premiers

étages des maisons, et des éboulements avaient lieu. Bientôt tout le quartier de la Guillotière fut envahi, les Charpentes, Vaux, Villeurbane paraissaient destinés à un engloutissement final. Pendant deux jours et deux nuits les maisons s'écroulèrent les unes après les autres, abandonnant leurs débris aux flots impétueux. A l'heure de la rupture de la digue, les habitants, hommes, femmes, vieillards, enfants, furent surpris dans leur sommeil. La plupart furent entraînés par les flots avant d'avoir le temps de se reconnaître, et malgré les secours organisés aussi vite que les circonstances le commandaient, un grand nombre ne furent plus retrouvés. La crue du Rhône a été telle, qu'elle a dépassé de 1m,50 celle de 1840, qui déjà avait causé tant de ravages.

Habitations, plantations, routes, chemins de fer, tout est détruit ou bouleversé en deux jours par ces effroyables débordements. On comptait près de 200 millions de pertes matérielles dans la vallée du Rhône, et non moins dans celle de la Loire. Presque tous les fleuves et rivières du midi de la France ont été grossis par les pluies torrentielles qui n'ont pas cessé pendant plusieurs jours, mais aucune crue n'a atteint des proportions aussi considérables que celle du Rhône et de ses affluents.

A Colmar, du 27 avril à la fin de mai, il est tombé 19 centimètres d'eau, le tiers d'une année. A Versailles, la pluie du mois de mai, qui avait été de 55mm en 1853, de 71 en 1854 et de 84 en 1855, s'éleva à 148. En 29 heures, les 30 et 31, la pluie continuelle donna 60mm.

Peu de jours avant ces pluies diluviennes, on avait remarqué que la masse des cirrus arrivaient du sud-ouest avec une vitesse inusitée de 100 kilomètres à l'heure. Le vent du nord s'étant déclaré, il en résulta les pluies phénoménales qui se précipitèrent.

Les années les plus pluvieuses de ce siècle ont été les suivantes. Les quantités d'eau indiquées ici sont celles du pluviomètre de la terrasse de l'Observatoire, et l'année météorologique est comptée du 1er décembre au 30 novembre.

1824....................	60 cent.	1849....................	59 cent.
1828....................	62	1856 (avril, mai, juin = 33).	55
1845....................	61	1866....................	64

Les années les plus sèches ont été :

1820	43 cent.	1842....................	40 cent.
1823....................	42	1855....................	35
1826....................	40	1863....................	43
1833....................	44	1870....................	42

Les pluies de 1866 ont agi jusque dans les caves de Paris, qui ont subi des inondations partielles inattendues en janvier et février 1867. Les nouvelles maisons, surtout, des boulevards Sébastopol, Malesherbes, Haussmann, de la rue la Fayette, etc., qui ont doubles caves, ont subi les meilleurs spécimens de cette inondation souterraine, parce que les architectes, trompés sans doute par le niveau très bas des puits de 1857 à 1865, ont établi le fond des caves presque à ce niveau. Les pluies de 1866 le relevèrent de 75 centimètres et davantage! Sur la rive gauche, les submersions souterraines ont été dues à une autre cause : au refoulement direct et immédiat de la nappe souterraine par les crues de la Seine.

Les pluies diluviennes s'observent surtout entre les tropiques. Sur les bords du Rio-Negro on reçoit presque tous les jours des pluies de 6 heures et de 50 millimètres d'eau. A Bombay, on s'est assuré que la terre avait reçu en un jour 108 millimètres de pluie. A Cayenne, l'amiral Roussin a trouvé que la quantité d'eau recueillie depuis 8 heures du soir jusqu'à 6 heures du matin était de 277 millimètres.

Hooker cite une localité de l'Himalaya où un déluge de 4 heures, semblable à l'écroulement d'une trombe, recouvrit le sol d'une couche liquide évaluée à 76 centimètres.

Le 21 octobre 1817, il tomba à l'île de Grenade 20 centimètres d'eau dans le court espace de 21 heures. Les rivières s'élevèrent de 9 mètres au-dessus de leur niveau ordinaire.

Voici les *plus grandes averses* constatées dans nos climats :

Les inondations ont causé en 1827 de nombreux désastres dans le midi de la France. On a vu rarement une série de pluies si extraordinaire que celle de cette année, dans l'Europe entière. Le 20 mai, il est tombé à Genève 16 centimètres d'eau dans le court intervalle de 3 heures. Dans la même année 1827, il est tombé à Montpellier, en 5 jours, du 23 au 27 septembre inclus, 45 centimètres d'eau. Du 24 au 26, en deux fois 24 heures, la pluie recueillie près de la même ville, à une manufacture de produits chimiques, s'est élevée à 32 centimètres. A Joyeuse, il tomba en 1 jour, le 9 octobre de la même année, 79 centimètres d'eau.

Valz a observé à Marseille, le 21 septembre 1839, un violent orage qui occasionna la plus forte pluie qu'on y eût encore vue : il tomba 40 millimètres d'eau en 25 minutes. La Cannebière, cette rue de 30 mètres de large, avec une pente de 13 millimètres

par mètre, fut entièrement submergée pendant 5 minutes; l'eau s'y était élevée à 45 centimètres au-dessus du trottoir.

Dans le bassin de la Saône, il existe une petite ville appelée Cuiseaux, où il pleut toujours plus que dans aucun autre point de la même vallée. Ainsi, immédiatement avant les terribles inondations de 1841, il y tomba 27 centimètres d'eau en 68 heures. Dans le même intervalle, il n'en était tombé que 15 à Oullins, près de Lyon.

J'ai vu tomber, racontait F. Petit, directeur de l'Observatoire de Toulouse, pendant un orage à Toulouse, le 19 septembre 1844, 35 millimètres d'eau en une demi-heure, soit 1 millimètre environ par minute. C'est la plus forte pluie que je connaisse pour nos climats. Je puis citer également, pour Toulouse, les pluies du 23 avril 1841 et du 25 mars 1844, qui fournirent en 3 heures, l'une 38, l'autre 40 millimètres d'eau; celles du 8 juin 1848, qui donna 49 millimètres en 5 heures; du 6 septembre 1848, 19 millimètres en 30 minutes; du 10 août 1854, 21 millimètres en trois quarts d'heure; du 10 août 1859, 52 millimètres en deux orages successifs de 40 minutes chacun environ, etc.

Dans la nuit du 5 au 6 août 1857, une averse qui inonda la ville de Toulouse donna au pluviomètre de l'Observatoire 70 millimètres d'eau. Petit remarquait à ce propos que c'est une quantité de 11 200 000 hectolitres qui sont tombés sur la ville, égale en superficie à une lieue carrée. C'est 7000 hectolitres par hectare, quantité bien suffisante pour refroidir le sol et pour favoriser par conséquent des pluies nouvelles. Après de longs jours de sécheresse et de chaleur, les nuages venus de la mer doivent être dissous par le rayonnement calorifique du sol, et leur précipitation à l'état de pluie est d'autant plus difficile que la chaleur a été plus considérable. Après un premier refroidissement, au contraire, les nuages se résolvent plus facilement. La sécheresse favorise la sécheresse, et la pluie amorce la pluie.

Une pluie torrentielle qui a duré 12 heures, le 20 septembre 1846, a éclaté à Privas (Ardèche) et dans les environs sur une assez grande étendue; il est tombé 25 centimètres d'eau. Toutes les rivières débordèrent, firent de grands ravages et interceptèrent les communications.

L'une des plus fortes averses de pluie enregistrées au pluviomètre de la terrasse de l'Observatoire de Paris est celle du 9 septembre 1865, qui dura une demi-heure et qui donna 52 millimètres d'eau.

Pendant les inondations de septembre 1868, on a observé au Bernardino (Alpes italiennes) 25 centimètres de pluie en 24 heures.

En fait d'averses prodigieuses et d'inondations subites on peut remarquer entre autres celle du 4 juin 1839 en Belgique :

La pluie commença avant midi, et jusque vers le soir n'offrit rien de particulier. L'orage ne commença à se déclarer avec intensité qu'après 8 heures; la pluie était chassée avec force par un vent violent, dont la direction venait du nord; et, plus tard, il passa vers l'ouest. Pendant plus de trois heures, la pluie tomba avec une abondance dont nous n'avons guère d'exemples dans nos climats. Dans plusieurs endroits, les récoltes ont été détruites, les campagnes inondées. Dans le jardin de l'Observatoire, plusieurs arbres ont été déracinés, trois peupliers ont été renversés; le long des boulevards on a trouvé le lendemain un grand nombre d'oiseaux morts ou tellement abattus par la pluie et la fatigue que les passants pouvaient les ramasser. Les communications par le chemin de fer furent interrompues en plusieurs endroits; un grand nombre de bestiaux ont péri avec leurs étables; mais le désastre le plus déplorable est sans contredit celui du hameau de Borght, près de Vilvorde, qui a été presque totalement détruit avec plus de quarante de ses habitants, morts sous les décombres ou ensevelis sous les eaux. L'orage, en général, a sévi avec le plus d'intensité dans toute l'étendue de la vallée de la Woluwe et du côté de Berthein, où l'on a eu à regretter également la perte de onze personnes.

La quantité d'eau tombée dans ces différentes localités doit avoir été considérable, puisqu'à Bruxelles, éloignée de quelques lieues du théâtre de ces grandes dévastations, la quantité d'eau recueillie sur la terrasse de l'Observatoire s'élevait à 112 millimètres en 24 heures : quantité énorme, puisqu'elle forme le sixième de l'eau qui y tombe annuellement.

L'une des plus fortes pluies que nous puissions enregistrer ici est encore celle qui vient de tomber à Montpellier, le 2 août de cette année 1871. Le pluviomètre du Jardin des plantes donna à M. Ch. Martins les curieuses sommes suivantes : De 9 heures 30 du soir à 4 heures du matin, une pluie d'averse sans discontinuité versa 90^{mm} d'eau. Un redoublement de l'orage en versa 51 nouveaux, de 6 heures à midi. Dans l'après-midi, jusqu'à 4 heures, il est encore tombé 13^{mm} d'eau. C'est un total de 154 millimètres en 15 heures, supérieur à la somme de pluie tombée en avril, mai, juin et juillet, qui ne s'élève qu'à 133.

La plus formidable pluie connue est celle du 21 octobre 1822, à Gênes : 81 centimètres en 24 heures! Ce résultat inouï, fait re-

marquer Arago, inspira des doutes à tous les météorologistes; on soupçonnait une erreur d'impression; mais le fait fut vérifié. Deux seaux de bois, de 64 et 70 centimètres de hauteur, vides avant la pluie, furent constatés avoir été remplis avant sa fin.

Nous avons vu qu'il arrive parfois également des chutes de neiges fort abondantes. Pour en rappeler une ici, le *Moniteur* du 12 janvier 1867 faisait remarquer que la neige tombée en quelques jours sur Paris, sur une épaisseur de 15 centimètres, représentait un volume de *un million trois cent quarante et un mille mètres cubes*, et demandait pour être enlevé 15 000 tombereaux fonctionnant pendant 6 jours, et 6 millions de dépense.

En songeant à l'impression de terreur que fait éprouver la vue d'un précipice, l'on peut se demander comment nous ne sommes pas effrayés de sentir suspendues sur nos têtes de si énormes quantités d'eau : des quantités capables de fournir sur la surface d'un hectare, comme la pluie de Toulouse en 1844, *trois mille* hectolitres d'eau dans 30 minutes, ou comme celle de Gênes, *quatre-vingt-un mille* hectolitres en 24 heures.

Dans les régions équatoriales, au sein des plateaux montagneux, des forêts immenses et des lacs profonds, on assiste parfois à des scènes d'orage dont nos régions tempérées ne donnent qu'une faible idée. Pendant la saison des pluies, c'est-à-dire pendant six mois de l'année, la chaîne des Andes est le séjour de gigantesques orages.

Pendant son voyage à Quito, la curieuse capitale de la République de l'Équateur, située sur le premier degré de latitude et à 3000 mètres au-dessus de la mer, M. Ernest Charton fut témoin d'une de ces tourmentes, dont il trace un tableau pittoresque :

Je savais, dit-il, que chaque jour, à trois heures de l'après-midi, la tempête se déchaînait avec violence dans les montagnes, et m'étant aventuré une fois assez loin de la ville, je m'étais promis d'être de retour avant l'heure fatale; mais désireux d'achever une vue commencée et retardé ensuite par des accidents de terrain, je devins malgré moi le spectateur d'une scène dont la plume ou le crayon sont impuissants à peindre la sublime horreur.

Le soleil avait tout à coup disparu derrière un amas de nuages qui enveloppaient le sommet des Andes de leurs sombres tourbillons. Les flancs des montagnes et leurs mille cavernes rugissaient en vomissant des éclairs, tandis que le ciel, de son côté, lançait des torrents de flammes ; pendant trois heures, je ne vis autour de moi qu'une atmosphère embrasée, j'entendis sans interruption les détonations effrayantes de la foudre que répétait la voix profonde des échos. Celui qui assiste au bombardement et à l'incendie d'une place de guerre n'a devant les yeux que la pâle imitation de cette lutte imposante des éléments. Enfin la tempête épuisée fit un dernier effort; le tonnerre plus rapide devança la trombe d'air qui marchait; celle-ci déchira, enleva ou renversa tout ce qui se trouvait sur son passage, elle

pénétra dans la forêt et obligea les palmiers et les cèdres à se courber. Le ciel alors ouvrit ses cataractes et versa ses torrents sur les monts enflammés, la terre n'était plus qu'un océan, l'air apaisé n'avait plus de souffle, mais ce désordre dura peu : bientôt de tièdes vapeurs s'élevèrent du sol, l'horizon s'éclaircit et une agréable fraîcheur me rendit la vigueur nécessaire pour réagir contre de si terribles impressions.

J'aurais infailliblement péri comme tant d'autres voyageurs imprudents si je n'avais trouvé un refuge dans une caverne. Encore les décharges électriques qui m'entouraient menacèrent-elles plus d'une fois de m'atteindre. Lorsque je rentrai à la *posada*, l'hôtelier me croyant mort, racontait déjà ma triste aventure avec force détails qui faisaient le plus grand honneur à son imagination. Le brave homme m'accueillit néanmoins avec joie, et, pendant toute la soirée, le récit des catastrophes causées par des tempêtes des Cordillères défraya la conversation.

Ces lugubres histoires auraient probablement troublé mon sommeil et m'auraient exposé à d'affreux cauchemars, si un charitable Péruvien n'eût changé le cours de nos idées en nous racontant une anecdote comique.

Deux généraux, venant de Lima, traversaient ensemble les difficiles passages des Andes. Engagés dans une conversation animée, ils oubliaient le péril auquel les exposait l'allure paresseuse de leurs mules. Tout à coup, une averse de grêle vint fondre sur eux ; la foudre éclatait à chaque instant, et la terre, mise en contact avec l'électricité des nues, lançait elle-même des flammes. Enfin, la puissance des vents devint si menaçante que nos deux amis craignirent de se voir emportés avec leurs montures. Ils cherchaient des yeux un abri : leurs regards découragés n'en apercevaient nulle part.

Un vaste étang bordait leur chemin.

« Eh? dit l'un d'eux, si nous nous mettions dans l'eau, nous serions moins exposés au vent et à la foudre.

— Excellente idée ! réplique l'autre ; entre deux maux, il faut choisir le moindre. »

Là-dessus nos généraux mettent pied à terre et s'enfoncent jusqu'au cou dans la nappe liquide ; mais si leur corps était préservé, leur tête ne l'était pas, et pour la garantir ils la plongeaient dans l'eau à chaque éclair, enviant le sort des heureux habitants du petit lac que la nécessité de la respiration n'obligeait point à paraître à la surface.

Leur terreur redoubla quand ils virent foudroyer leurs mules à quelques pas de l'humide retraite ; croyant leur dernière heure arrivée, ils recommandèrent leur âme à Dieu.

« Hélas ! s'écria l'un, j'ai depuis longtemps oublié mes prières.

— Je vais alors, répliqua l'autre qui avait été élevé dans un couvent, dire à haute voix le *Confiteor*, et vous n'aurez qu'à répéter mes paroles. »

Tous deux se mirent à réciter d'une voix tremblante les saintes oraisons, accompagnées de vigoureux et fréquents *mea culpa*.

Quoique résignés à mourir, nos deux voyageurs faisaient maints plongeons entremêlés de signes de croix. Bonne ou mauvaise, l'expérience ne leur fut pas funeste. L'orage cessa, et la foudre les avait épargnés. Cependant ils n'avaient plus de montures, point de vivres ni d'habits de rechange, et ils durent, dans cet état lamentable, faire à pied plusieurs lieues avant d'atteindre une habitation. Lorsqu'ils y arrivèrent, leurs cheveux, dit-on, étaient blancs : une seule épreuve les avait vieillis plus que vingt campagnes.

CHAPITRE V.

LA GRÊLE.

PRODUCTION DE LA GRÊLE. — MARCHE DES ORAGES. — DISTRIBUTION CAPRICIEUSE DU MÉTÉORE SUR LES CAMPAGNES. — PLUS FORTES GRÊLES OBSERVÉES. — NATURE, GROSSEUR ET FORME DES GRÊLONS — PÉRIODES DES CHUTES DE GRÊLE.

Il n'est aucun de nos lecteurs qui n'ait été surpris par une de ces averses prodigieuses qui couronnent les lourds orages de nos contrées. Une température suffocante règne à la surface du sol, plusieurs couches de nuages noirs et gris volent dans l'atmosphère sous des directions différentes. Des éclairs blafards embrasent le ciel, la foudre éclate, et des millions de kilogrammes de grêlons nous sont lancés du haut des nues comme précipités des cataractes entr'ouvertes d'un réservoir immense. Pendant plusieurs minutes la grêle sillonne l'espace, crible les jardins et les arbres, roule avec fracas dans les tourbillons de la pluie orageuse ; puis elle s'éloigne avec le vent, la chaleur étouffante fait place aux fraîches senteurs des plantes mouillées, la lumière revient, l'arc-en-ciel brille et l'azur céleste reparaît au sein de la nature calmée.

Quelle est la force qui produit dans les nues ces morceaux souvent énormes de glace, qui les soutient dans l'espace, puis les lance sur nos récoltes et nos demeures ? En étudiant la production de la pluie, nous avons vu qu'elle ne se produit ordinairement que lorsqu'il y a deux ou plusieurs couches de nuages superposées. Il en est de même pour la formation de la grêle, mais avec une différence dans les conditions physiques respectives des nuages.

La grêle se produit pendant les orages, en des heures où la tem-

pérature est très-élevée à la surface du sol et décroît rapidement avec la hauteur. Ce décroissement rapide est la condition principale de la formation de la grêle. On a trouvé ce décroissement descendu jusqu'à 1 degré pour 70 mètres. Que se passe-t-il alors dans la région des nuages ? Les nuées supérieures, depuis 3000 jusqu'à 7000 ou 8000 mètres, renferment, les plus hautes, de la glace à —30 et —40 degrés ; les plus basses, de l'eau vésiculaire à —10 et —20 degrés. Les nuées inférieures contiennent de l'eau vésiculaire au-dessus de zéro. Ordinairement ces nuées marchent en des directions différentes, et la grêle se forme lorsqu'il y a conflit et mélange entre des vents opposés entre des courants et des nuées de températures si différentes. Les gouttes d'eau des nuages qui se résolvent alors en pluie, se gèlent instantanément au milieu d'un tel froid. Emportées par les tourbillons, soulevées même et placées sous l'influence des électricités contraires des diverses couches de nuages, ces gouttes glacées ne tombent même pas immédiatement malgré leur poids, car elles ont le temps de se grossir d'une grande quantité d'eau qu'elles s'attachent sur leur passage, et souvent de s'agglomérer en grand nombre.

Le grand froid qui se manifeste dans les nuages au-dessous de la région des neiges éternelles est dû en grande partie à l'évaporation, et cette évaporation a elle-même une double cause : l'action du soleil et celle de l'électricité ; car on a remarqué qu'après chaque décharge électrique la pluie ou la grêle se précipite en plus grande abondance, et la réaction produit une dilatation qui doit donner naissance à une évaporation rapide.

La formation des grêlons est toujours très-rapide. Volta pensait que le nuage supérieur était formé par la condensation de la vapeur provenant de la couche inférieure, et chargé d'électricité positive, celle-ci gardant l'électricité négative. De même qu'entre deux plaques de cuivre chargées d'électricité contraire on voit des boules de sureau s'élever et redescendre tour à tour sous l'influence de la double attraction, de même il pensait que la grêle se formait par une danse analogue de corpuscules de neige ou de glace, se grossissant successivement de vapeurs condensées. On n'admet plus guère cette théorie, et il est plus simple en effet d'admettre que la grêle se forme comme la pluie, mais en des conditions de froid atmosphérique qui gèle instantanément les globules d'eau au moment où ils se forment.

Il paraît que cette formation, ou le choc des grêlons transportés par le vent, produit parfois un bruit capable d'être entendu de

la surface du sol. On voit, chez les anciens, Aristote et Lucrèce rapporter le fait. Les météorologistes Kalm et Tissier disent l'avoir entendu, le premier en France, le 13 juillet 1788, le second à Moscou, le 30 avril 1744. Il y a une trentaine d'années, Peltier étant à Ham, dont la forteresse est devenue célèbre, entendit un bruit tellement fort à l'approche d'un orage, qu'il pensa qu'un escadron de cavalerie arrivait au galop sur la place de la ville. Il n'en était rien; mais, 20 secondes après, une averse de grêle épouvantable tomba sur la ville. Cette année (1871), à Doulevant-le-Château (Haute-Marne), M. Pissot, correspondant de l'Observatoire de Montsouris, rapporte avoir entendu, dans l'orage du 14 août, un roulement continu suivi d'une chute de grêle abondante à quelques lieues de lui. Ce n'est peut-être là qu'un bruit de tonnerre analogue à celui dont je parlerai tout à l'heure.

On a vu au chapitre des Nuages la chromolithographie d'une forme type des nuages à grêle. Leur surface présente çà et là d'immenses protubérances irrégulières. Vus en dessous, ils sont généralement très-foncés à cause de leur opacité, que traverse difficilement la lumière solaire. Arago avait déjà fait la remarque qu'ils semblent avoir beaucoup de profondeur et se distinguent des autres nuages orageux par une nuance cendrée très-remarquable. Leurs bords offrent des déchirures très-multipliées. Mais ils ne tardent pas à se confondre dans la masse générale des nimbus qui versent la pluie.

A quelle hauteur planent-ils? De quelle élévation tombent les averses de grêle? Saussure reçut des chutes de grêle sur le col du Géant, à 3428 mètres; Balmat en reçut au sommet même du Mont-Blanc, et Paccard trouva des grêlons sous la neige qui forme la cime; il grêle assez souvent sur les hauts pâturages des Alpes. Ainsi le phénomène de la grêle se produit à toutes les hauteurs. Mais dans le cas où il s'opère à ces grandes élévations, les grêlons fondent en traversant les milliers de mètres d'air au-dessus de zéro qui recouvrent la surface du globe. Dans le cas de nos averses de grêle, au contraire, les nuages qui la donnent sont moins élevés et paraissent situés entre 1500 et 2000 mètres. Au-dessous d'eux s'étendent les nuages orageux et pluvieux, vers 1000 mètres seulement et même très-souvent plus bas.

Les nuages qui versent la grêle n'occupent jamais une large étendue. Transportés par le vent, ils criblent une bande de terre étroite, dont la largeur n'est souvent que de 1 kilomètre, et ne s'étend que très-rarement au delà de 4 lieues, et dont la longueur

a atteint parfois jusqu'à 200 lieues. L'une des plus curieuses et des plus remarquables chutes de grêle que les annales de la météorologie aient enregistrées est celle du 13 juillet 1788. Elle était divisée en deux bandes : celle de gauche, ou de l'ouest, commença en Touraine, près de Loches, à 6 heures et demie du matin, passa sur Chartres à 7 heures et demie, sur Rambouillet à 8 heures, sur Pontoise à 8 heures et demie, sur Clermont en Beauvoisis à 9 heures, sur Douai à 11 heures, entra en Belgique, passa sur Courtray à midi et demi, et s'éteignit au delà de Flessingue à 1 heure et demie; c'est une longueur de 175 lieues, sur 4 de large. La bande de gauche, ou de l'est, commença vers Orléans à 7 heures et demie du matin, passa sur Arthenay et Andonville; atteignit Paris, au faubourg Saint-Antoine, à 8 heures et demie, Crespy en Valois à 9 heures et demie; Cateau-Cambrésis à 11 heures et Utrecht à 2 heures et demie. C'est 200 lieues, sur 2 seulement de large. L'intervalle compris entre les deux bandes était en moyenne de 5 lieues, et reçut de la pluie. Le passage de la grêle fut précédé sur les deux lignes par une obscurité profonde. La vitesse de cet orage était de 16 lieues et demie à l'heure sur les deux branches; dans chaque lieu la grêle ne tomba que pendant 7 à 8 minutes, mais avec tant de force que toutes les moissons furent hachées. C'est certainement là la plus remarquable chute de grêle qu'on ait suivie sur une aussi vaste échelle. On ne compta pas moins de 1039 communes ravagées en France; le dommage évalué par une enquête officielle s'éleva à 24690000 francs.

Les grêlons n'avaient pas toujours la même forme : les uns étaient ronds, les autres longs et armés de pointes; on en ramassa qui pesaient jusqu'à 250 grammes!

Il est très-rare qu'une même averse de grêle s'étende sur une pareille longueur et sur une ligne aussi régulière. Il est probable que les nuages producteurs de la grêle étaient ici à une hauteur supérieure à 1 kilomètre. En général, ils ne sont qu'à cette hauteur et subissent l'influence du relief des terrains. Certaines averses, sans se développer sur une pareille étendue, sont remarquables par leur abondance. Le 9 mai 1865, par exemple, un orage commence à 8 heures et demie du matin sur Bordeaux et se dirige au nord-nord-est, passe sur Périgueux à 10 heures, sur Limoges à midi, sur Bourges à 2 heures, arrive à Orléans à 5 heures et demie, à Paris à 7 heures 45, à Laon à 11 heures, et tombe après minuit en Belgique et dans la mer du Nord. Sa largeur moyenne était de 15 à 20 lieues. La grêle n'est tombée

que par places : à gauche de Périgueux, sur l'arrondissement de Limoges, à droite de Châteauroux, au sud-est de Paris, de Corbeil à Lagny, et dans les arrondissements de Soissons et de Saint-Quentin; sur ce dernier point elle a été formidable. La masse de cristaux tombée du ciel sur les prairies du Catelet formait un lit de 2 kilomètres de long sur 600 mètres de large, évalué dans son ensemble à 600000 mètres cubes! Quatre jours après, les grêlons n'avaient pas encore disparu (voy. fig. 218, p. 755).

Quelquefois il tombe des averses de grêle telles qu'elles détruisent toutes les récoltes, témoin celle qui ravagea les environs d'Angoulême, le 3 août 1813. On était à la veille de la récolte, et tout annonçait au cultivateur qu'elle serait aussi belle qu'abondante. La journée fut superbe, et le vent souffla plein nord jusqu'à 3 heures après midi, puis il tourna en un moment du côté opposé; le ciel se couvrit de nuages, qui bientôt s'amoncelèrent d'une manière effrayante. Le vent, qui était assez violent depuis midi jusqu'à 5 heures, cessa tout à coup de souffler. Le tonnerre se fit entendre dans le lointain, mais bientôt ses éclats redoublèrent; ils devenaient à chaque instant plus forts et plus fréquents; le ciel s'obscurcit enfin tout à fait, et d'épaisses ténèbres remplacèrent le jour. A 6 heures, une grêle horrible se précipite sur la terre avec fracas; les grêlons étaient gros comme des œufs. Plusieurs personnes en furent grièvement blessées, et un enfant fut tué dans l'arrondissement de Barbezieux. Le lendemain, 4 août, la terre présentait le triste aspect de l'hiver le plus rigoureux; les grêlons s'étaient accumulés dans les vallons et dans les chemins à une hauteur de 8 à 10 décimètres; les arbres étaient entièrement dépouillés de leurs feuilles; les vignes étaient comme hachées, les moissons écrasées; les bestiaux et surtout les moutons et les porcs qu'on n'avait pas eu le temps de rentrer, furent mutilés. Ces cantons restèrent dépeuplés de gibier, et l'on trouva même des louveteaux que la grêle avait tués. En 1818, l'on se ressentait encore de ce désastre; les vignes surtout n'avaient pas repris leur force productive, et l'on fut obligé d'en arracher une grande partie.

L'orage qui éclata le 17 juillet 1852, vers 6 heures du soir, sur le territoire de Chaumont, dans la Haute-Marne, parcourut 24 lieues de long sur 2 de large; les blés, les vignes et presque tous les arbres furent détruits par des grêlons d'une grosseur énorme. Le même ouragan fondit avec impétuosité sur le département de l'Aisne, déracina les arbres, renversa les chaumières,

tua plusieurs personnes; en quelques secondes, les champs, bouleversés par la violence du vent et de la grêle, ne présentaient plus trace de moissons.

Le 17 juillet 1868, vers 8 heures du soir, une forte grêle dévasta plusieurs communes des environs de Reims : les grêlons avaient le volume d'une petite noix, et l'orage a duré environ 45 minutes. Des cavités infundibuliformes, observées après l'orage, produisaient, dans les parties sablonneuses et en pente, des empreintes comparables à celles que laisserait un tir à la cible. Ces cavités, dans lesquelles les grêlons étaient d'abord enchâssés, constituent de véritables empreintes physiques de grêle, qui paraissaient avoir, au point de vue de l'interprétation d'empreintes du même genre observées par les géologues, une importance particulière.

Les grêles désastreuses sont peu fréquentes dans nos climats; cependant on voit que de temps en temps elles exercent de grands ravages. Le 18 juin 1839, un orage commença à Bruxelles vers 7 heures du soir; des nuages épais allaient du sud-sud-ouest au nord, tandis que la girouette indiquait un courant inférieur venant du nord-ouest. Jusqu'à 7 heures et demie, on n'entendit qu'un roulement continu, pendant lequel les éclairs se succédaient avec une étonnante rapidité. Bientôt après, un gros nuage, remarquable par une nuance cendrée, et dont la direction était ouest-nord-ouest au sud-est, plongea Bruxelles dans une obscurité presque complète, et creva avec une épouvantable chute de grêle qui causa les plus grands dégâts. La plupart des grêlons avaient une grosseur qui variait de 12 à 20 millimètres; on en a trouvé qui avaient jusqu'à 30 millimètres. Quelques-uns étaient à peu près sphériques; mais le plus grand nombre présentaient un aplatissement plus ou moins grand. La hauteur de l'eau tombée pendant l'orage a été de $37^{mm},4$. Le thermomètre centigrade s'était élevé jusqu'à $33°,4$, qui est son maximum pour Bruxelles; le baromètre atteignait un minimum de $754^{mm},48$ vers 4 heures de l'après-midi.

La chute de la grêle a une tendance à suivre les vallées et les rivières lorsque les nuages ne sont pas très-élevés; car, on le voit par les cas précédents, les orages sont alors des courants généraux qui viennent de l'Atlantique, et suivant la progression ordinaire des courants qui nous en arrivent, continuent leur marche des régions du sud-ouest vers celles du nord-est. Mais dans tous les orages secondaires partiels, qui sont les plus nombreux et se bornent à quelques départements, on remarque une déviation évi-

dente le long des vallées. Il semble aussi qu'ils évitent les forêts. Depuis que les écoles normales de France s'attachent à constater les faits météorologiques, les témoignages de l'influence des terrains, la distribution des orages et de la grêle abondent. Tels et tels pays sont grêlés chaque année, tandis que d'autres ne le sont qu'une fois en dix ans. On a pu même construire des cartes statistiques des dégâts causés par la grêle dans chaque département, en se servant des documents des compagnies d'assurances; mais ces cartes sont peu exactes au point de vue météorologique, puisqu'elles sont basées sur les pertes vénales : une même quantité de grêle produira dix fois plus de perte en tombant sur une plantation de tabac, comme dans le Bas-Rhin, qu'en tombant sur des terrains incultes ou même des bois. Il n'en est pas moins vrai cependant que la quantité intrinsèque de grêle diffère pour des pays voisins selon leur situation géologique, orographique et climatologique.

Les orages à grêle sont ceux où le développement de l'électricité atteint les plus grandes proportions. Les nuages épais où s'élabore le météore sont chargés d'une forte dose du mystérieux fluide, dont une partie s'épuise dans leur propre sein ou dans les décharges réciproques avec leurs congénères. Le tonnerre n'est plus seulement alors un bruit succédant à l'éclair; c'est un roulement continu pendant lequel on n'aperçoit souvent pas les éclairs, soit qu'ils n'aient que de très-petites dimensions, soit qu'ils agissent exclusivement dans l'intérieur du mouvement des nuées. Ainsi, le 4 septembre dernier (1871), entre autres, j'ai remarqué, en suivant l'orage à grêle qui se développa sur Paris entier, qu'à 3 heures 36 minutes, après que la grêle était passée sur le quartier de l'Observatoire, et lorsqu'elle se trouvait sur Ménilmontant, un roulement de *tonnerre sans éclairs* dura pendant 6 minutes, et recommença plusieurs fois. — Le 7 mai 1865, un violent orage éclate sur le département de l'Aisne et cause un désastre de plusieurs millions. Au-dessus des couches de nuages on voyait un épais cumulus, d'un blanc livide, dans lequel se produisait un petillement continu d'éclairs; le roulement du tonnerre se prolongeait sans intensité ni fracas; un fourmillement non interrompu d'éclairs engendrait une espèce de crépitation sans intermittence, et les explosions semblaient se concentrer dans l'intérieur de la plus forte nuée. Lorsque la nuee eut franchi lentement les hauteurs de Rousoy, au faîte du bassin de la Somme et de l'Escaut, elle fondit avec une effrayante rapidité dans la vallée de ce dernier

fleuve, cribla Vend'huile, le Câtelet, Beaurevoir de grêlons en nombre si considérable qu'ils couvrirent le sol sur une épaisseur de 5 mètres; ils y étaient encore six jours après, et formaient par endroits des bancs si compactes que les eaux en furent endiguées; lorsqu'on se mit à les déblayer, ils glissaient comme des banquises! — Le 18 juin 1839, à Bruxelles, par un fort orage à grêle, M. Quételet remarqua, à 7 heures et demie du soir, un roulement continu du tonnerre, pendant lequel les éclairs se succédaient avec une étonnante rapidité. Bientôt après, un gros nuage cendré plongea la ville dans une obscurité profonde, et creva avec une épouvantable chute de grêle.

Il est intéressant pour nous de nous demander ici jusqu'à quelles dimensions les grêlons peuvent atteindre. Un choix de documents authentiques nous permet de donner à ce sujet des comparaisons assez curieuses.

Après la grande grêle du 13 juillet 1788, dont nous parlions tout à l'heure, le géologiste Tessier façonna des morceaux de glace qui lui parurent avoir la consistance de la grêle, de manière à leur donner la grosseur d'un œuf de pigeon, d'un œuf de poule, d'un œuf de dindon, pour faciliter aux météorologistes les moyens d'évaluer approximativement le poids des grêlons en partant de la manière habituelle de désigner leur grosseur. Le premier pesait 11 grammes, le second 23 grammes, le troisième 69 grammes.

La grosseur la plus ordinaire de la grêle est à peu près celle d'une noisette; souvent même il en tombe de la grosseur d'un gros pois seulement. Dans les averses ordinaires, les grêlons pèsent de 3 à 8 grammes.

Les trois dimensions que nous venons de rappeler se sont présentées fréquemment dans les annales de la météorologie. Ce n'est pas un fait absolument extraordinaire de recevoir des grêlons de 10 à 70 grammes.

Les faits extraordinaires sont les suivants, qui sont en même temps parfaitement authentiques, et certifiés par des physiciens connus :

Dans une grêle qui fit de grands ravages sur les bords du Rhin, le 13 avril 1832, le grêlon le plus lourd trouvé par Voget, à Heinsberg, pesait 90 grammes. A Randerath, ils pesaient le double.

Dans une grêle qui écrasa, pendant 45 minutes, une partie du Morbihan, le 21 juin 1846, les grêlons présentèrent toutes les

dimensions comprises entre des noix et des œufs de dindon. On en a mesuré un de 22 centimètres de circonférence.

Muncke a pesé, en Hainaut, des grêlons dont le poids était de 120 grammes.

Le 29 avril 1697, on ramassa dans le Flintshire, suivant Halley, des grêlons pesant 130 grammes, et le 4 mai de la même année, Taylor mesura, dans le Stratforshire, des grêlons qui avaient 30 centimètres de tour.

Volney raconte que pendant l'orage du 13 juillet 1788, il était au château de Pontchartrain, à quatre lieues de Versailles; les rayons du soleil étaient d'une chaleur insupportable, l'air calme et étouffant, c'est-à-dire très-raréfié; *le ciel était sans nuages*, et cependant on entendait des coups de tonnerre. Vers 7 heures et un quart parut un nuage au sud-ouest, suivi par un vent très-vif. En quelques minutes, dit-il, le nuage remplit l'horizon et accourut vers notre zénith avec un redoublement de vent alors frais, et tout à coup commença une grêle, non pas verticale, mais lancée obliquement comme par 45°, d'une telle grosseur, que l'on eût dit des plâtres jetés d'un toit que l'on démolit. Je n'en pouvais croire mes yeux ; nombre de grains étaient plus gros que le poing d'un homme, et je voyais qu'encore plusieurs d'entre eux n'étaient que les éclats de morceaux plus gros. Lorsque je pus avancer la main en sûreté hors de la porte de la maison où, fort à temps, je m'étais réfugié, j'en pris un, et les balances qui servaient à peser les denrées m'indiquèrent le poids de plus de 6 onces (153 grammes). Sa forme était très-irrégulière : trois cornes principales, grosses comme le pouce, et presque aussi longues, prédominaient du noyau qui les rassemblait!

Volta assure que, dans la nuit du 19 au 20 avril 1787, parmi les énormes grêlons qui ravagèrent la ville de Côme et ses environs, on en trouva qui pesaient 9 onces (280 grammes).

Parent, de l'Académie des sciences, rapporte qu'il tomba, le 15 mai 1703, dans le Perche, des grêlons de la grosseur du poing. Ils pesaient de 300 à 400 grammes.

Montignot et Tressan en ramassèrent à Toul, le 11 juillet 1753, qui avaient la forme de polyèdres irréguliers, et un diamètre de 8 centimètres.

Pendant une grêle, le 5 octobre 1831, il tomba à Constantinople des masses plus grosses que le poing, et pesant 500 grammes. On cite des grêlons analogues ramassés en mai 1821 à Palestrina (États romains).

Mais voici des constatations plus extraordinaires encore :

Le 15 juin 1829, une grêle fut assez forte pour enfoncer les toits des maisons à Cazorta (Espagne) : les blocs de glace pesaient jusqu'à 2 kilogrammes !

De telles proportions ne peuvent être atteintes que par des grêlons agglomérés, soudés ensemble, soit là où ils tombent, soit même pendant leur chute. C'est ce que l'observation a toujours constaté du reste. Telle est, à plus forte raison, l'explication des faits suivants, si toutefois ils sont bien réels :

Dans les derniers jours d'octobre 1844, au milieu d'un ouragan épouvantable qui dévasta le midi de la France, on vit des grêlons de 5 kilogrammes ; la ville de Cette, en particulier, éprouva les

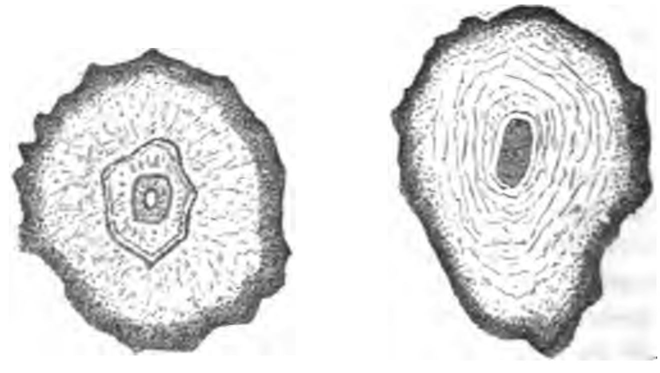


Fig. 199. — Coupe de grêlons, montrant leur structure intérieure ordinaire.

plus grands désastres ; des hommes furent lapidés, des cloisons renversées et des vaisseaux coulés bas.

Il paraît que dans une grêle fantastique arrivée le 8 mai 1802, on ramassa une masse de glace qui mesurait 1 mètre en long et en large, et 7 décimètres d'épaisseur.

Le docteur Foissac, qui cite ce fait, ne le tient pas pour exagéré, et il lui ajoute le suivant : « M. Hue, de la congrégation de Saint-Lazare, missionnaire apostolique dans la Tartarie, le Thibet et la Chine, rapporte que la grêle tombe fréquemment dans la Mongolie, et souvent, dit ce vénérable ecclésiastique, elle est d'une grosseur surprenante : nous y avons vu des grêlons du poids de douze livres ; il suffit quelquefois d'un instant pour exterminer des troupeaux entiers.

« En 1843, pendant un grand orage, on entendit dans les airs comme le bruit d'un vent terrible, et bientôt après il tomba dans un champ, non loin de notre maison, *un morceau de glace plus gros*

qu'une meule de moulin. On le cassa avec des haches, et, quoiqu'on fût au temps des plus fortes chaleurs, il fut trois jours à se fondre entièrement. »

Si le fait est réel, rien n'empêche d'admettre la chronique du temps de Charlemagne, qui parle de grêlons de 15 pieds de large sur 6 de long et 11 d'épaisseur; et celle de Tippo-Saïb, qui met en scène un grêlon de la grosseur d'un éléphant!

Les formes des grêlons sont très-diverses. Ordinairement ils sont ronds, sphériques, plus ou moins irréguliers, comme des pois, des grains de raisin, des noisettes. Un grand nombre aussi sont allongés, comme des grains de blé, de cornouilles, d'olives. Lorsqu'ils sont très-gros, ils sont formés par la juxtaposition de parcelles cristallisées. Le 4 juillet 1819, pendant un orage de nuit qui désola une grande partie de l'ouest de la France, Delcros ramassa plusieurs grêlons sphériques entiers, dans lesquels on remarquait un premier noyau sphérique d'un blanc assez opaque, offrant des traces de couches concentriques; autour de ce noyau était une enveloppe de glace compacte, rayonnée du centre à la circonférence, et terminée extérieurement par douze grandes pyramides entre lesquelles des pyramides moindres étaient intercalées. Le tout formait une masse sphérique de près de 9 centimètres de diamètre.

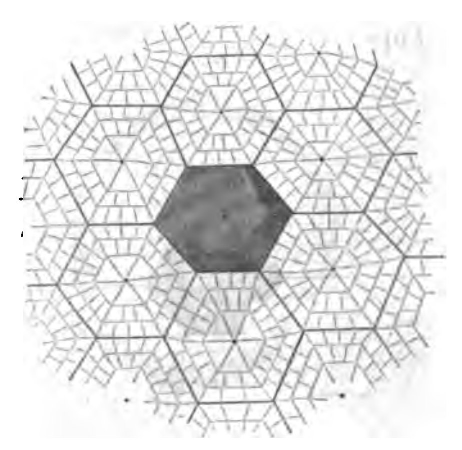


Fig. 200. — Coupe d'un grêlon, grossie.

Des grêlons ramassés le 12 septembre 1863 dans un chemin situé au sud-ouest de Tiflis, et dessinés dans le Bulletin de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg, avaient la forme ellipsoïdale, et leur surface était recouverte d'un grand nombre de petits mamelons. Le tissu polyédrique, examiné à la loupe, montrait l'aspect d'une série de pyramides à six pans, et une section faite dans l'intérieur montrait aussi l'existence d'un réseau à mailles hexagonales représenté par le dessin précédent.

Le 29 juillet de cette année (1871), à 6 heures du soir, par un beau soleil, avec quelques nuages d'apparence très-innocente, on entendit à Auxerre un bruit caractéristique, comparable à la mar-

che d'un train lourdement chargé. Quelques éclats de foudre précédèrent les chutes de la grêle. Celle-ci ne tarda pas à tomber sans tempête, sans bouleversement atmosphérique, en miroitant au soleil dans sa descente tranquille. Les grêlons gardèrent leur forme en tombant sur le sol. M. Daudin a dessiné quelques-unes de leurs physionomies les plus caractéristiques. Les voici, dans leurs di-

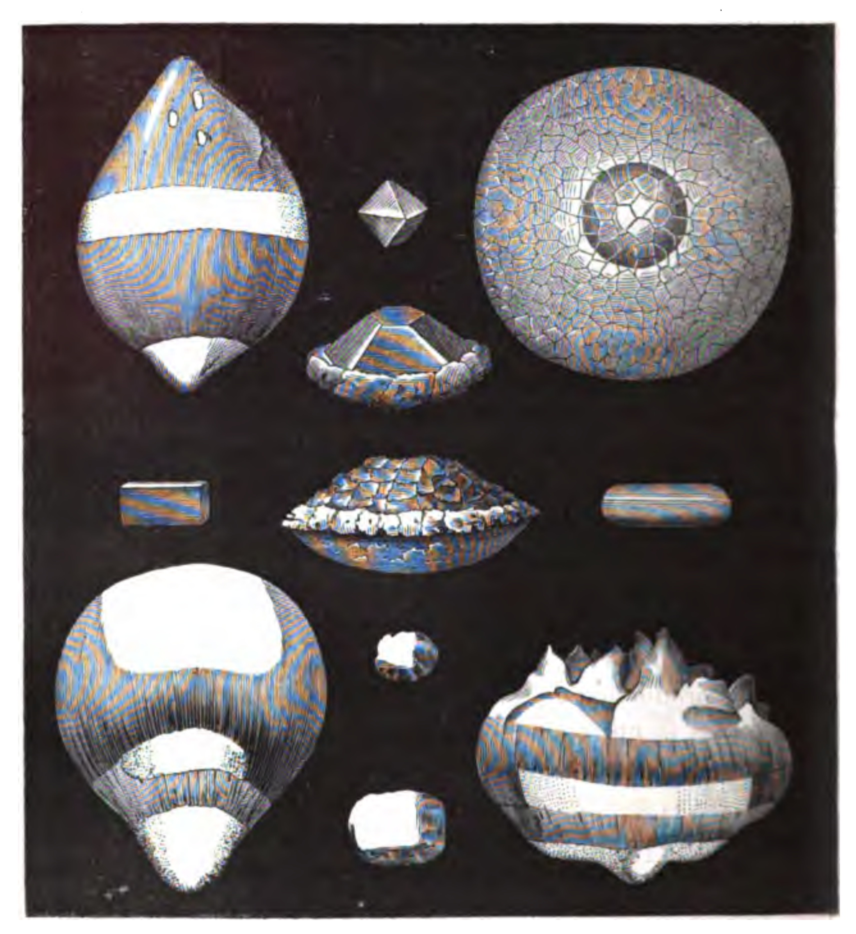


Fig. 201. — Différentes formes de grêlons.

mensions exactes (*Bulletin international* de l'Observatoire de Paris, du 27 août 1871). Ils occupent les quatre angles de cette figure. Les deux grêlons taillés placés au centre sont ceux dont nous avons parlé plus haut et qui ont été dessinés pour l'Académie de Pétersbourg. On leur a ajouté quelques grêlons moins gros et de forme plus ordinaire.

Dans ce même orage, à Montargis, M. Parant a remarqué qu'à 6 heures 45 minutes du soir il tomba, pendant une grêle abondante, des morceaux de glace de 3 à 5 centimètres de longueur, de forme ovoïde, et aussi transparents que le cristal.

Pendant l'orage du 22 mai 1870, à Paris, M. Trécul, de l'Institut, remarqua que plusieurs grêlons étaient coniques, ou plutôt pyriformes, c'est-à-dire plus larges à leur partie inférieure qu'à leur partie supérieure; il y en avait qui atteignaient environ 2 centimètres de longueur et 1 cent. et demi de largeur. L'un d'entre eux, spécialement examiné, présentait des caractères dignes d'attention. Le tiers supérieur (la partie la plus étroite du grêlon) était opaque et blanc, tandis que la partie inférieure, ou la plus large, était d'une translucidité parfaite, comme la glace la plus pure. En outre, ce grêlon, vu par le gros bout, c'est-à-dire quand le diamètre le plus étroit était placé transversalement par rapport à l'axe visuel, montrait manifestement la figure d'un rhombe à angles obtus, et des côtés partaient des facettes obliques qui convergeaient et s'effaçaient vers le sommet obtus du grêlon.

Quant aux époques de la grêle, chacun a pu remarquer qu'elle tombe principalement en été et dans l'après-midi, c'est-à-dire dans les circonstances où sont réunies les conditions météorologiques rapportées plus haut : grande chaleur à la surface du sol, diminution rapide avec la hauteur, forte évaporation des nuages sous l'action du soleil. Comme cependant le seul conflit d'un vent supérieur très-froid avec un vent très-chaud à la même altitude peut amener la production de la grêle, elle tombe parfois en hiver et parfois pendant la nuit; mais ce sont là des exceptions.

Les météorologistes réunissent souvent le grésil et la grêle, et trouvent alors que ces météores aqueux tombent plus souvent en hiver et au printemps qu'en été et en automne. Mais le grésil diffère de la grêle, non-seulement par son état de division extrême, mais encore par son mode de formation, car il ne prend pas naissance au sein des orages et ne nécessite pas les grands mouvements atmosphériques que nous avons résumés. Ce n'est qu'une pluie glacée, ou qu'une neige grenue et dense.

CHAPITRE VI.

LES PRODIGES.

LES PLUIES DE SANG, — DE TERRE, — DE SOUFRE, — DE PLANTES, DE GRENOUILLES, — DE POISSONS, — D'ANIMAUX DIVERS.

A part les pluies ordinaires, plus ou moins intenses, d'eau, de neige ou de grêle, que nous avons étudiées jusqu'ici, l'histoire des météores nous offre parfois des pluies extraordinaires qui, bien souvent, ont jeté la terreur parmi les âmes faibles et ignorantes qui croyaient y voir des signes directs de la colère céleste.

Nous ne parlerons pas des pierres tombées du ciel, des aérolithes, dans lesquels les philosophes grecs voyaient des fragments détachés de la voûte céleste, et qui sont, comme nous l'avons vu, des corpuscules cosmiques circulant dans l'espace. Nous ne parlerons pas non plus des pluies de pierres, de briques, de planches, de poteries, qui sont dues à des trombes. Mais nous devons jeter un coup d'œil critique sur certains phénomènes que nous avons passés sous silence jusqu'ici. Et d'abord, commençons par les pluies de sang.

Homère fait tomber une pluie de sang sur les héros grecs, présage de mort pour de nombreuses et vaillantes têtes, que Zeus doit précipiter dans Hadès. Obsequens cite les suivantes : Après la prise de Fidènes, an de Rome 14, des gouttes de sang tombèrent du ciel, au grand étonnement de tous. En 538, pluie de sang abondante sur le mont Aventin et à Aricie. En 570 et 572, sur la place de Vulcain et sur celle de la Concorde, il pleut du sang pendant deux jours; en 585, pendant un jour. En 587, ce prodige apparut en plusieurs endroits de la Campanie, au territoire de Préneste. En

626 à Céré; en 648 à Rome; en 650 à Duna; en 652 aux environs de l'Anio. Il plut du sang lors du meurtre de Tatius....

Plutarque parle de pluies de sang après de grands combats: dans la guerre cimbrique, par exemple, après le massacre de tant de milliers de Cimbres dans les plaines de Marseille. Il admet que les vapeurs sanguines distillées des corps et diluées dans l'humeur des nuages, communiquaient à ceux-ci leur coloration rouge.

Voici les pluies de sang que j'ai pu relever depuis le commencement de notre ère jusqu'à la fin du siècle dernier, en mettant surtout à profit les recherches de M. Grellois sur ce curieux sujet:

Je vois d'abord dans Grégoire de Tours que l'an 582 de notre ère « une pluie de sang tomba sur le territoire de Paris. Beaucoup de gens la reçurent en leurs vêtements, et elle les mouilla de telles taches, qu'ils s'en dépouillèrent avec horreur. »

L'histoire de Constantinople rapporte une pluie analogue sur cette ville en 652.

En 654, le ciel parut embrasé dans les Gaules, du sang s'échappa des nuages en abondance.

En 787, Fritsch signale, en Hongrie, une pluie de sang suivie d'une peste. On en vit d'autres en 869 à Brixen, et en 929 à Bagdad.

En 1117, des phénomènes extraordinaires, pluies de sang, bruits souterrains, jetèrent l'épouvante en Lombardie pendant la lutte de l'affranchissement des communes, et l'on provoqua, à cet effet, une réunion d'évêques à Milan. Le même phénomène fut observé à Brescia pendant trois jours et trois nuits, avant la mort du pape Adrien II.

En 1144, il plut du sang sur plusieurs points de l'Allemagne; en 1163, à la Rochelle.

En 1181, au mois de mars, il plut constamment du sang pendant trois jours, en France et en Allemagne; une croix lumineuse parut dans le ciel.

Vers la fin de 1543, il tomba du sang au château de Sassembourg, près de Barendorf en Westphalie, en 1560 à Louvain. Dans les environs d'Einden (Frise orientale), en 1571, il tomba, pendant la nuit, une si grande quantité de sang que sur un espace de 5 à 6 milles l'herbe et les vêtements exposés à l'air prirent une couleur pourpre. Plusieurs personnes en conservèrent dans des vases. On chercha, mais en vain, à expliquer ce prodige par la supposition que la vapeur du sang de nombreux bœufs abattus s'était élevée dans les nuages. On ne trouve pas d'autre explication plus sérieuse parmi les causes naturelles.

Nous en remarquons aussi en 1623 à Strasbourg, en 1638 à Tournay, et en 1640 à Bruxelles.

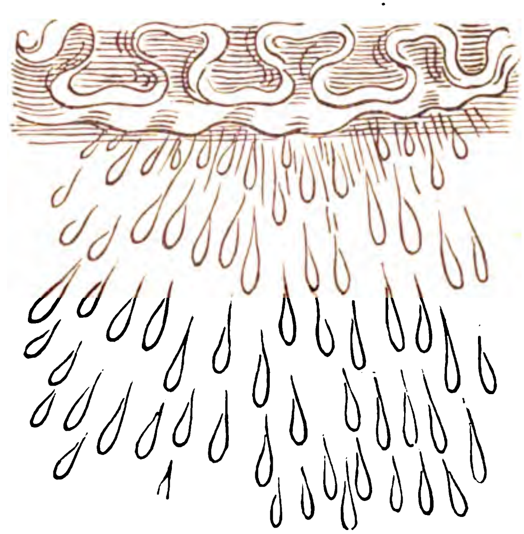
On lit dans l'histoire de l'Académie des sciences, que le 17 mars 1669, à quatre heures du matin, il tomba, en plusieurs endroits de la ville de Châtillon-sur-Seine, une espèce de pluie ou de liqueur roussâtre, épaisse, visqueuse et puante, qui ressemblait à une pluie de sang. On en voyait de grosses gouttes imprimées contre les murs, et même un mur en était fouetté de côté et d'autre : « ce qui fait croire que cette pluie était formée d'eaux stagnantes et bourbeuses, enlevées par un tourbillon de vent de quelques mares des environs. »

Venise en reçoit une en 1689.

En 1744 il tomba une pluie rouge au faubourg Saint-Pierre d'Arena de Gênes, que les horreurs de la guerre, qui était alors sur les terres de la République, rendirent très-effrayante pour le peuple, et l'on vérifia ensuite que cette teinte résultait d'une terre rouge qu'un vent impétueux avait enlevée d'une montagne voisine.

L'histoire en constate ensuite en 1763 à Clèves, en 1765 en Picardie, en 1803 en Italie.

Les pluies colorées en rouge ont été assez souvent observées à notre époque pour qu'on ne puisse émettre aucun doute sur la réalité du phénomène; la seule erreur des anciens porte sur la nature de cette coloration, qui lui donnait une apparence de prodige. Bède pensait qu'une pluie plus épaisse et plus chaude qu'ordinaire pouvait devenir rouge comme du sang et faire illusion aux ignorants. Kaswini, El Hazen, et d'autres savants du moyen âge, racontent que vers le milieu du neuvième siècle, il tomba une poudre rouge et une matière semblable à du sang coagulé. Ces philosophes étaient donc entrés déjà dans la voie d'une saine explication; ils ne voient là qu'une ressemblance, ce qui peut être vrai, et non une réalité, ce qui répugne à la logique la plus simple. « Ce que le vulgaire appelle pluie de sang, dit G. Schott, n'est ordinairement que la chute de vapeurs teintes par du vermillon ou de la craie rouge. Mais quand il tombe du sang véritable, ce qu'on pourrait difficilement nier, c'est un miracle dû à la volonté de Dieu. » Lueur de vérité, bientôt évanouie! On lit dans Eustathe, commentateur d'Homère, qu'en Arménie les nuages laissent échapper des pluies de sang, parce que cette contrée renferme des mines de Cinabre, dont la poussière, mêlée à l'eau, vient colorer les gouttes de pluie.


Fig. 202. — Les pluies de sang, d'après un dessin du moyen âge.

Conrad Lycosthènes, dans son *Livre des Prodiges*, dont nous avons déjà donné un fac-simile à la page 233 de cet ouvrage, représente les *pluies de sang* et les *pluies de croix* en des dessins enfantins qui nous donnent une idée de la naïveté d'autrefois (voy. aussi la fig. 204).

Au commencement de juillet 1608, une de ces prétendues *pluies de sang* vint à tomber dans les faubourgs d'Aix, en Provence, et cette pluie s'étendit à une demi-lieue de la ville. Quelques prêtres de la ville, trompés, ou désireux d'exploiter la crédulité du peuple, n'hésitèrent pas à voir dans cet événement des influences sataniques. Heureusement un homme instruit, M. de Peiresc, se livra, sur ce soi-disant prodige, à des recherches assidues, examina surtout de ces gouttes fixées à la muraille du cimetière de la grande église d'Aix et de quelques maisons voisines. Il reconnut bientôt qu'elles n'étaient autre chose que les excréments de papillons qu'on avait observés en abondance dans les commencements de juillet. Aucune tache de ce genre n'existait au centre de la ville, où les papillons n'avaient point paru, et, de plus, on n'en observait pas au-dessus de la partie moyenne des maisons, niveau auquel s'arrêtait le vol de ces animaux. D'ailleurs, la présence de ces gouttes, dans des lieux couverts, ne pouvait permettre qu'on leur supposât une origine atmosphérique.

Il s'empressa de montrer le fait aux amis du miracle. Il constata et fit constater que les prétendues gouttes de sang ne se trouvaient que dans des cavités, des in-

terstices, sous le chaperon des murs, jamais à la surface des pierres tournées vers le ciel. Il prouva par ces diverses observations que les prétendues gouttes de sang étaient des gouttes de liqueur rouge déposées par les papillons.

Cependant, en dépit des remarques rassurantes de Peiresc, le peuple des faubourgs d'Aix continua de ressentir une véritable terreur à la vue de ces larmes sanglantes qui tachaient le sol de la campagne.

Réaumur signale le papillon nommé grande tortue comme le plus capable de répandre ces sortes d'alarmes.

« Il y en a des milliers, dit-il, qui se transforment en chrysalides vers la fin de



Fig. 207. — Pluie de sang en Provence. Juillet 1608.

mai ou le commencement de juin. Pour se transformer, elles quittent les arbres, elles vont souvent s'appliquer contre les murs, elles entrent même dans les maisons de campagne, elles pendent aux cintres des portes, aux planchers. Si les papillons qui en sortent vers la fin de juin ou au commencement de juillet volaient ensemble, il y en aurait assez pour former de petites nuées, et, par conséquent, il y en aurait assez pour couvrir les pierres de certains cantons de taches d'un rouge couleur de sang, et pour faire croire à ceux qui ne cherchent qu'à s'effrayer et qu'à voir des prodiges, que pendant la nuit il a plu du sang. »

En général, cependant, les pluies de sang ne sont pas seule-

ment des taches rouges produites par certains insectes, mais ce sont de *véritables pluies*, coloriées par des poussières emportées par le vent. Ce n'est qu'en notre siècle qu'on a reconnu cette origine générale.

Le 14 mars 1813, l'une de ces étranges pluies rouges tomba dans le royaume de Naples et dans les deux Calabres. Un savant, Sementini, l'examina, l'analysa, en rendit compte dans les termes suivants à l'Académie des sciences de Naples :

« Un vent d'est soufflait depuis deux jours, lorsque les habitants de Gérace (l'ancienne Locres) aperçurent une nuée dense s'avancer de la mer. A 2 heures après midi, le vent se calma; mais la nuée couvrait déjà les montagnes voisines et commençait à intercepter la lumière du soleil; sa couleur, d'abord d'un rouge pâle, devint ensuite d'un rouge de feu. La ville fut alors plongée dans des ténèbres si épaisses que, vers les 4 heures, on fut obligé d'allumer des chandelles dans l'intérieur des maisons. Le peuple, effrayé et par l'obscurité et par la couleur de la nuée, courut en foule dans la cathédrale faire des prières publiques. L'obscurité alla toujours en augmentant, et *tout le ciel parut de la couleur du fer rouge;* le tonnerre commença à gronder, et la mer, quoique éloignée de 6 milles de la ville, augmentait l'épouvante par ses mugissements; alors commencèrent à tomber de grosses gouttes de pluie rougeâtres, que quelques-uns regardaient comme des gouttes de sang, et d'autres comme des gouttes de feu. Enfin, aux approches de la nuit, l'air commença à s'éclaircir, la foudre et le tonnerre cessèrent, et le peuple rentra dans sa tranquillité ordinaire. »

Sans commotions populaires, et avec quelques différences en plus ou en moins, le même phénomène d'une pluie de poussière rouge eut lieu non-seulement dans les deux Calabres, mais encore dans l'extrémité opposée des Abbruzzes.

Cette poussière avait une couleur d'un jaune de cannelle et une saveur terreuse peu marquée; elle était onctueuse au toucher, on y découvrait à la loupe de petits corps durs ressemblant au pyroxène. La chaleur la brunissait, puis la rendait tout à fait noire, et enfin la rougissait en devenant plus intense. Après l'action de la chaleur, elle laissa apercevoir, même à l'œil nu, une multitude de petites lames brillantes, qui étaient du mica jaune. Sa pesanteur spécifique, lorsqu'elle fut privée de corps durs, était de 2,07; elle était composée de silice 33,0, alumine 15,5, chaux 11,5, chrôme 1,0, fer 14,5, acide carbonique 9,0.

D'où venait cette poussière? C'est ce que l'on ne put encore déterminer.

Il faut arriver jusqu'à l'année 1846 pour avoir un examen général de ces pluies, qui les suivra dans l'espace jusqu'à leur origine.

Le 16 mai de cette année-là, une pluie de terre salit toutes les eaux de Syam (Jura). L'automne de la même année vit se reproduire une pluie de terre qui fut accompagnée par un cortége de foudres, de pluies diluviennes, d'ouragans extraordinairement désastreux, qui se déchaînèrent tour à tour, et à peu de chose près, sur un large anneau du sphéroïde terrestre, de façon à ne se laisser expliquer que par une grande perturbation du système des alizés.

Alors, les cyclones bouleversèrent l'Atlantique : au milieu d'épouvantables rafales, de tourmentes, de grêles, des vaisseaux furent démâtés, rasés comme des pontons; d'autres naviguaient entre des débris flottants. Des tempêtes éclatèrent ensuite en France, en Italie, à Constantinople, et plus loin, vers l'est, les typhons exercèrent leurs fureurs sur les mers de Chine.

Les vents furent assez intenses pour détacher une couche de terre dans les régions où la surface du sol offrait des sables ou de la terre friable, facile à enlever. Transportée au loin, cette terre devait nécessairement se déposer quelque part. L'effet se produisit dans le midi de la France, entre le Puy et le Mont-Cenis, dans le sens du vent dominant, et transversalement de Bourg à la Drôme. Toutefois, l'abondance du précipité variait suivant les localités : à Lyon même, il fut peu apparent, quoiqu'il se montrât sous la forme d'un limon rougeâtre, que les croyances populaires qualifièrent de *pluie de sang*. Mais à Meximieux, les soldats d'un bataillon qui se rendait à la frontière suisse ont été couverts de boue, leurs fourniments en étaient tellement imprégnés qu'il fallut les soumettre à un lavage soigné. Le château de Chamagnieu reçut un crépi qui le rendit méconnaissable, et à Valence, la couche se trouva si épaisse, que les habitants furent forcés de curer les gouttières des toits et de dégager les tuyaux de descente. Fournet rapporte un calcul duquel il résulte cette curieuse conclusion que, pour le département de la Drôme, les nuées ont dû charrier et répandre sur la contrée le poids énorme de 7200 quintaux métriques, qui représentent la charge de 180 charrettes attelées de 4 chevaux vigoureux et portant chacune 40 quintaux métriques de cette terre.

Ehrenberg, auquel on fit parvenir des échantillons de ce produit, y constata 73 formes organiques dont quelques-unes sont propres à l'Amérique méridionale. Cette terre venait du nouveau monde !

L'intervalle de temps écoulé entre la sortie de l'Amérique, 13 octobre, et l'arrivée sur la France, 17 octobre, fut d'environ quatre jours, vitesse de $17^{m},15$ par seconde.

Depuis 1846, nous avons, comme pluie colorée remarquable, celle du 31 mars 1847, dans les environs de Chambéry. Elle était troublée par une matière laiteuse qui avait l'apparence d'une argile tenue en suspension. Les vêtements des passants qui reçurent quelques gouttes de cette pluie restèrent parsemés de taches blanchâtres assez visibles. Mais bientôt après, les nouvelles venues de la Savoie, et surtout celles du grand Saint-Bernard, apprirent qu'il y tomba une *neige rouge terreuse* poussée par le sud-ouest, et qui recouvrit le sol sur une épaisseur de plusieurs centimètres.

Cette coloration de la neige par de la poussière ne doit pas être confondue avec sa coloration plus fréquente par un petit animal qui vit sur son sein glacé : le *disceraca* ou *uredo nivalis*, espèce d'infusoire qui se développe sur une étendue parfois singulière dans les Alpes et dans les régions polaires.

Lors de la pluie rouge de 1847 dont nous parlons, les neiges s'étendaient sur une bonne partie de la France : à Paris, à Orléans, dans les Vosges, dans la Bresse, et les ouragans sévirent à la Havane, à Bahama, aux Açores, à Terre-Neuve, aux Sorlingues, dans le Portugal et l'Espagne. Des tourbillons atmosphériques bouleversaient le nord, l'ouest, le Havre, Paris ; à Grignan, vingt-quatre cigognes descendaient des nues, asphyxiées ou brûlées par la foudre. Dans Nantua, une trombe enlevant à 3 mètres de hauteur une guérite avec la sentinelle, couvrait les rues de débris de tuiles, de vitres, de cheminées. Les nombres donnés par Fournet font ressortir une baisse barométrique très-prononcée et très-rapide dans la journée du 31, à laquelle succéda une baisse encore plus forte le 2 avril.

Nous devons ensuite relever la pluie de terre du 27 mars 1862, remarquable par ses résultats. A l'état humide, le résidu possédait, comme celui de 1846, une couleur rouge assez marquée pour raviver les préjugés populaires sur les *pluies de sang;* en séchant, c'était une terre fine et jaunâtre. Ehrenberg y découvrit 44 formes diverses, parmi lesquelles ces galionelles microscopiques dont un pouce cube peut tenir 466 000.

Signalons encore celle du mois de mai 1863, à Beauvais, à 5 heures du matin, par une pluie à larges gouttes qui continua jusqu'à 11 heures. Les étoffes furent de nouveau maculées et offrirent les empreintes d'une terre de même apparence que les précédentes.

Dans la nuit du 30 avril au 1er mai, vers 3 heures du matin, un orage violent avec tonnerre éclata sur Perpignan; ensuite, le matin, on reconnut sur plusieurs points de la ville aussi bien qu'à la campagne une poussière rougeâtre dont on ignora d'abord l'origine; mais il fut bientôt constaté qu'elle était tombée avec la pluie. La même chute s'est étendue dans la plaine du département des Pyrénées-Orientales, comme sur les points élevés, à cette différence près, qu'il s'agissait, pour ceux-ci, d'une neige rouge.

L'apparition de ses flocons qu'on crut teints de sang causa une certaine terreur aux habitants. Enfin, le même phénomène se manifesta sur plusieurs points du littoral de la Méditerranée.

On y trouva une poussière de marnes argileuses, ferrugineuses, mêlées de sables très-fins qui, en traversant l'atmosphère, la dépouillèrent d'une partie des matières organiques qui s'y trouvaient en suspension. En ce sens, ces pluies deviennent des chutes d'un limon fertilisateur, des *pluies d'engrais*.

Naturellement, chaque vent un peu énergique est capable de soulever des flots poussiéreux; le fait se remarque encore plus particulièrement quand, animé d'un mouvement giratoire, il possède l'espèce de force d'aspiration qui lui permet de composer les petits follets ou tourbillons de sable que l'on rencontre si souvent sur les routes.

Toute l'étendue de la vaste zone des déserts, qui se prolonge sur les pays intertropicaux et subtropicaux de l'ancien comme du nouveau monde, est capable de livrer aux vents des éléments terreux, transportables au loin. L'Europe peut également livrer aux vents des sables et de la poussière, aussi bien que les contrées lointaines de l'Asie, de l'Afrique et de l'Amérique.

Nous avons apprécié plus haut la puissance des trombes. Pour ne rappeler que celle de 1780, remarquable au point de vue actuel, elle se développa près de Carcassonne, sur les bords de l'Aude, eleva très-haut de grandes quantités de sable, découvrit quatre-vingts maisons, emporta et dispersa au loin les gerbes qu'elle rencontra sur les champs. De gros frênes furent déracinés; leurs plus puissantes branches furent lancées jusqu'à 40 mètres de distance, etc., etc. Une telle puissance suffit pour expliquer les transports les plus lointains de sable et de terre. La pluie de

sang tombée à Sienne, du 28 au 31 décembre 1860, et analysée avec soin par le D. Campani, a paru être d'origine organique.

L'une des dernières pluies de sang les plus remarquables est celle du 10 mars 1869. Ce jour-là, le Sirocco, dont nous avons parlé dans notre chapitre sur les vents particuliers, soufflait à Naples. Ses rafales emportaient avec elles cette espèce de nébulosité qui lui est propre et qui ressemble à un léger brouillard ; le baromètre avait beaucoup baissé et marquait 637 millimètres; il faisait très-chaud, et de temps à autre de brusques et courtes averses tombaient tantôt en pluie fine et serrée, tantôt en larges gouttes d'orage. Chaque goutte de cette pluie laissait une trace boueuse là où elle était tombée.

Ces taches, vues de près, avaient une teinte brun-jaunâtre très-prononcée et ressemblaient fort à l'empreinte produite par une eau ferrugineuse ; les gouttes laissaient une trace sur les vêtements et marquaient sur la soie du chapeau, tout comme les éclaboussures d'une boue renfermant de l'oxyde de fer. Une feuille de papier blanc, préalablement mouillée et exposée au vent, a présenté au bout de quelques minutes un assez grand nombre de petits grains rougeâtres, de forme sensiblement sphérique, dont le diamètre pouvait varier de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{100}$ de millimètre.

Si l'on se demande d'où provenait ce sable, la réponse n'est pas douteuse : en suivant la direction tracée par le vent, on arrive directement à l'Afrique sans rencontrer aucune terre d'où l'on puisse supposer que ces matières auraient été enlevées ; c'est donc le simoum du Sahara qui les a semées sur la Méditerranée et projetées jusque sur notre côte.

M. Breton, professeur à Grenoble, a remarqué que ce résidu était tout à fait analogue à celui qu'il a ramassé à Valence en septembre 1846, après la pluie rouge dont nous parlions tout à l'heure.

Comme on l'avait présumé, ce sable venait en effet du Sahara. On voit, par une autre relation, que le 3 mars 1869, l'Algérie a été le théâtre d'un ouragan de la plus grande violence.

Près d'El-Outaïa nos soldats ont été surpris par le vent au milieu d'une mer de sable. Ils ont dû employer 4 heures et demie pour parcourir 11 kilomètres. « Depuis 17 ans que je suis en Algérie, dit un témoin oculaire, je n'avais jamais été témoin d'une pareille tourmente. Toute notre petite colonne dut s'arrêter et les précautions les plus grandes durent être prises pour la grouper et éviter de perdre des hommes. A la seconde halte forcée, nous tournâmes le dos à la rafale, et pendant une heure et demie il

nous fut impossible d'apercevoir le soleil et le ciel, quoique nous n'eussions remarqué antérieurement que de très-légers nuages au-dessus de nos têtes. Pendant des quarts d'heure entiers, on cessait d'entrevoir son voisin, couché à 2 ou 3 mètres de distance.»

La pluie rouge tombée à Naples avait certainement été prise, la veille sans doute, dans les sables du Sahara, aussi bouleversé par une tempête qui du reste s'étendit sur l'Europe entière, la Méditerranée et l'Afrique.

Ces phénomènes sont intimement liés aux grands mouvements de l'Atmosphère, comme M. Tarry en a fait récemment la judicieuse remarque.

Dix jours après la pluie rouge précédente, le 20 mars, une violente tempête, venant de l'Angleterre, assaillit les côtes nord de la France. Le 20, un centre de dépression atmosphérique très-marqué existe à Boulogne (734 millimètres); le 21, il est déjà à Lésina, sur l'Adriatique. Pendant plusieurs jours, un vent violent du nord-ouest sévit sur la France, puis sur l'Italie. Le 22, le cyclone est sur l'Afrique, où il soulève, comme précédemment les sables du Sahara; puis le mouvement de recul se produit; une baisse barométrique se manifeste de nouveau sur le sud de l'Europe, où la pression s'était relevée après le passage du cyclone. Le 24, le baromètre descend à 740 millimètres à Palerme, à 742 à Rome; le vent prend une violence inouïe; à Rome le météorographe du P. Secchi indique une vitesse de 640 milles en vingt-quatre heures, la plus grande qui ait été atteinte dans toute l'année.

En même temps, le 23 mars, on observe en Sicile que l'atmosphère est chargée de nuages épais et d'une poussière jaunâtre qui donne au ciel un aspect insolite. La pluie étant venue à tomber, chaque goutte laisse un résidu jaune qu'on ne peut séparer entièrement qu'après deux ou trois filtrations. Cette substance, analysée par le professeur Silvestre à Catane, contenait les éléments suivants : de l'argile, du sable calcaire, du peroxyde d'hydrate de fer, du chlorure de sodium, de la silice, et des matières organiques azotées.

Le même phénomène est observé à Lubiace, près de Rome, et à Lésina, en Illyrie. Ainsi, voilà les prodiges dont parle Tite-Live, enregistrés aujourd'hui par l'Observatoire de Paris.

La dernière pluie rouge remarquable est celle du 13 février 1870.

Le 7 février, une forte dépression barométrique se produit sur l'Angleterre; le baromètre marque 745 millimètres à Penzance; le 9

elle descend sur la Méditerranée; le 10 elle est sur la Sicile, où le baromètre est plus bas qu'à Rome. Cette baisse barométrique est accompagnée d'une violente tempête; à Rome, le vent souffle du nord avec violence pendant trois jours, les 8, 9 et 10. Sous cette influence glaciale, un froid terrible règne en France et en Italie; il neige à Rome dans les nuits des 8 et 9. Le 11 et le 12, le temps se calme, et le baromètre remonte; le cyclone est sur l'Afrique où il soulève les sables du Sahara. Puis le mouvement de recul dont nous avons parlé ne tarde pas à se faire sentir; le 12, le baromètre tombe à 743 millimètres au sud de l'Espagne; un vent furieux du sud ne cesse de souffler le 13 et le 14 sur l'Espagne et l'Italie; l'Afrique renvoie comme précédemment à l'Europe le cyclone qu'elle en a reçu les jours précédents avec l'ouragan qui l'accompagne, plus le sable qu'il a enlevé au Sahara. En effet, le 13 février, à 2 heures de l'après-midi, la présence d'un sable rougeâtre dans l'eau de pluie est constatée dans les environs de Rome, à Subiaco, par M. Alvarez; à Tivoli par le P. Ciampri, et à Mondragone par le P. Lavaggi. Dans la nuit du 13 au 14, il tombe à Gênes une matière terreuse et rouge, et à Moncaliéri le P. Denza, *directeur* de l'Observatoire, recueille de la *neige rouge* contenant ce même sable.

Cet historique des pluies de sang nous montre 1° qu'elles sont réelles, 2° qu'elles sont dues le plus souvent à des poussières enlevées par le vent à des régions souvent très-éloignées, 3° qu'elles ne sont pas aussi rares qu'elles le paraissent. Ainsi celles qui ont été authentiquement constatées en Europe et en Algérie en notre siècle et ont eu quelque importance par leur densité et leur étendue, sont au nombre de 21 :

1803	Février......	Italie.	1847	Mars.........	Chambéry.
1813	Février......	Calabre.	1852	Mars.........	Lyon.
1814	Octobre......	Onéglia, entre Nice et Gênes.	1854	Mai..........	Horbourg, près Colmar.
1819	Septembre...	Studein, Moravie.	1860	31 Décembre.	Sienne.
1821	Mai..........	Giessen.	1862	Mars.........	Beaunan, près de Lyon.
1839	Avril....	Philippeville, Algérie.	1863	Mars.........	Rhodes.
1841	Février......	Gênes, Parme, Canigon.	1863	Avril.........	Entre Lyon et l'Aragon.
1842	Mars.	Grèce.	1868	26 Avril.....	Toulouse.
1846	Mai..........	Syam, Chambéry.	1869	10 Mars.	Naples.
1846	Octobre......	Dauphiné, Savoie, Vivarais.	1869	23 Mars......	Sicile.
			1870	13 Février...	Rome.

On voit que c'est au printemps et à l'automne, à l'époque des tempêtes équinoxiales, que ces pluies singulières se produisent le

plus souvent. Nous avons vu qu'elles peuvent être causées par les traces de certains papillons. Une troisième cause doit encore être remarquée ici : c'est celle qui provient des volcans, dont les cendres peuvent être transportées par les vents à d'immenses distances. On pourrait en citer de nombreux exemples.

Voici maintenant une série d'autres pluies prodigieuses rapportées par les chroniques anciennes, exagérées et interprétées de manières diverses, et dont les explications ne sont pas toujours faciles à donner.

Les *pluies de lait* sont assez souvent mentionnées. Ainsi Obsequens rapporte qu'au territoire de Véies, en 629, il plut du lait et de l'huile. L'absence de tout renseignement positif sur les faits de cette nature autorise, tout au plus, à hasarder quelques conjectures empruntées aux éruptions volcaniques ou à l'enlèvement de terres blanches, crayeuses, par un ouragan. En 620, de Rome, des ruisseaux de lait coulèrent dans le lac romain. En 643, du lait coula pendant trois jours, dans un lieu non indiqué ; de nombreuses victimes furent immolées à l'occasion de ce prodige. Ces prétendus ruisseaux de lait sont un phénomène commun dans certaines contrées ; le lavage des terres blanches par les pluies suffit pour donner naissance à cette illusion, qui ne saurait d'ailleurs résister au plus simple examen.

Dion Cassius parle d'une pluie ayant l'aspect de lait et qui, tombant sur des pièces de monnaie ou des vases de cuivre, leur donna pour trois jours l'apparence de l'argent. Si le fait est exact, il est évident qu'il s'agit ici de mercure sublimé et retombant par le fait de sa condensation. Mais comment et dans quelles conditions se seraient opérées cette sublimation et cette condensation ? Voilà ce qu'il faudrait savoir pour ajouter foi à ce soi-disant prodige.

Glycas signale également une pluie de mercure, qui peut être la même que la précédente, quoiqu'elle soit rapportée à l'époque d'Aurélien.

Nous pouvons rapprocher de ces pluies un phénomène qui a été trop souvent observé dans ces circonstances pour que sa réalité puisse être révoquée en doute. Nous voulons parler de l'apparence de *croix* sur les vêtements. En voici quelques exemples.

En 764, à Tours, les désordres des moines de l'église Saint-Martin attirèrent la colère de Dieu. Du sang tomba du ciel sur la terre et des croix parurent sur les vêtements des hommes (Grégoire de Tours).

Fritsch signale, en 783, une pluie de sang et des croix sur les vêtements, sans qu'il soit question de pluie.

En 1094, des croix tombent du ciel sur les vêtements des prêtres, sans doute pour les avertir de leur impiété, dit G. Schott.

L'an 1534, en Suède, il tomba une pluie qui laissait sur les vêtements l'apparence de croix rouges. Cardan explique ce phénomène en disant que des poussières rouges étaient délayées dans l'eau de pluie et que les croix étaient formées par les gouttes tombant sur la trame des tissus. Fromond et Schott n'admettent pas cette explication, parce que, suivant eux, ces croix ne se formaient pas seulement sur quelques parties du vêtement, mais sur la totalité, et qu'en faisant tomber des gouttes de sang sur un tissu elles n'affectent jamais cette forme. Il y aurait donc eu dans ce fait, d'après ces hommes religieux, une intervention directe de la divinité.

Mais il y a mieux. Les chroniques rapportent que des croix tombèrent (en 1501) en Allemagne et en Belgique, non-seulement sur les vêtements, *même*

enfermés dans des coffres (pour ces derniers, au moins, il faudrait dire : les croix *qui se formèrent* et non *qui tombèrent*) et notamment sur les vêtements des femmes, mais encore qui se marquaient sur la peau même des individus, et jusque sur leur pain. Ce prodige dura trois ans, se renouvelant au temps de la Passion et de Pâques ; sans doute, dit le narrateur de cette chronique, pour inspirer le respect, trop souvent oublié, que nous devons au sang et à la croix du Seigneur. Jean de Horn, prince de Liége, rendit compte à l'empereur Maximilien Ier de l'observation qu'il avait faite sur une jeune fille de cette ville, âgée de vingt-deux ans, dont les vêtements se couvraient incessamment de croix sanglantes, quoiqu'on les changeât à chaque instant.

Du sang à la chair la transition est directe. Rapportons le fait suivant, cité par Obsequens. « En l'an de Rome 273, la chair tombait du ciel comme de la neige, en morceaux plus ou moins gros. Celle qui ne fut pas dévorée par les oiseaux ne répandit pas d'odeur et ne subit aucune altération. » Cette dernière caractéristique démontrerait avec évidence, s'il en était besoin, qu'il ne s'agit point ici de véritable chair animale, la chair étant essentiellement putrescible. Quelle était donc cette substance ainsi tombée du ciel? Pourrait-on établir quelque analogie entre la chute de cette matière solide et celle de la manne des Hébreux? En rappelant qu'on trouve dans beaucoup de sources thermales sulfureuses une production d'apparence animale, imitant la chair, est-ce dépasser les bornes de la vraisemblance scientifique en supposant que les conditions nécessaires à la formation de cette substance se seraient accidentellement rencontrées dans l'atmosphère? Est-il plus sage d'opposer à ce phénomène une négation absolue? se demande le docteur Grellois. Chacun est libre du jugement à porter.



Fig. 204. — Pluie de croix, d'après un dessin du moyen âge.

Rappelons, toutefois, qu'on cite d'autres exemples de pluies de substances nutritives. Ainsi, de notre temps, en 1824 et en 1828, on vit dans une contrée de la Perse tomber une pluie de ce genre, si abondante en quelques points, qu'elle couvrait le sol à cinq ou six pouces de hauteur. C'était une espèce de lichen, déjà connu; les troupeaux, et surtout les moutons, s'en nourrirent avec avidité ; on en fit même du pain.

On peut rapprocher des faits précédents la chute de matières molles signalée par Muschenbroeck et qu'on vit en Irlande en 1675. C'était une pluie de substance grasse comme du beurre, glutineuse et qui se ramollissait dans la main, mais se détachait au feu et prenait une mauvaise odeur.

L'abbé Richard rapporte les deux faits suivants, qu'il appelle des pluies de feu. Au mois de novembre 1741, un nuage chassé par un vent d'est très-violent, après s'être heurté plusieurs fois contre les montagnes qui sont au-dessus de la ville d'Almérie, au royaume de Grenade en Espagne, se brisa, et il en sortit une pluie

d'étincelles ardentes qui non-seulement mirent le feu à toute la campagne des environs, mais encore à une partie de l'escadre commandée par M. de Court, et qui était alors au port d'Almérie.

Le 10 mars 1695, sur les sept heures du soir, il s'éleva, à Châtillon-sur-Seine, un grand orage; la tête de la nuée qui paraissait l'exciter, s'étant enflammée, l'air parut tout en feu; ceux qui le virent en furent fort effrayés et crurent que les villages voisins étaient entièrement consumés par le feu qui tombait de tous côtés en étincelles semblables à celles qui sortent du fer rouge quand on le bat. Après être tombées, elles roulaient quelque temps à terre et devenaient bleues; elles s'éteignaient ensuite. Cette pluie de feu dura un quart d'heure, occupa un grand terrain où elle ne causa point d'incendie; à la queue de l'orage la neige tombait à grands flocons.

En 828, il tomba du ciel des grains semblables à ceux du blé, mais plus petits. On met en regard de ce fait insolite les succès des Sarrasins et des Turcs.

On peut accepter sans difficulté ce fait, ainsi que le suivant rapporté par Jonston : Pendant deux heures, dans la Carinthie et sur une surface de plus de deux milles, il tomba des grains de blé dont on put faire du pain.

Nous admettons volontiers encore le récit de Cassiodore, qui assure que chez les Atrébates, en 371, il tomba de la laine véritablement mêlée à la pluie.

Les *pluies de soufre*, fréquemment citées aussi, ne sont d'habitude que le pollen de certaines plantes dioïques, notamment pins et noisetiers, qui peut être, par les vents, transporté à de grandes distances. Sans remonter à la pluie de soufre qui détruisit Sodome et Gomorrhe, on ne peut guère, cependant, révoquer en doute certaines chutes de soufre, qui paraissent bien constatées. *Olaus Wormius* rapporte que, le 16 mai 1646, il tomba à Copenhague une pluie très-abondante qui inonda toute la ville et qui contenait une poussière exactement semblable au soufre par sa couleur et son odeur. Au dire de Simon Paulli, le 19 mai 1665, il tomba en Norvége, par une tempête horrible, une poussière tout à fait semblable au soufre, qui, jetée dans le feu, donna la même odeur et qui, mêlée avec l'esprit de térébenthine, produisit une liqueur dont l'odeur ressemblait parfaitement à celle du baume de soufre. Le voisinage des volcans de l'Islande peut suffire à l'explication de ces faits. Des phénomènes de même nature ne sont pas rares à Naples. Sigesbek fait mention, dans les mémoires de Breslaw, d'une pluie de soufre tombée dans la ville de Brunswick, *et qui était un vrai soufre minéral.*

Le fait demanderait confirmation. Quant aux pluies de pollen, de fleurs, de feuilles, elles ont été authentiquement constatées.

A Autrèche (Indre-et-Loire), le 9 avril 1869, à midi dix minutes, l'air était très-calme et sans aucun nuage. M. Jallois rapporte qu'un de ses correspondants constata une pluie de feuilles sèches de chêne tombant des régions élevées de l'atmosphère; sa vue est très-perçante : il les voyait apparaître comme des points brillants sur l'azur du ciel à une très-grande hauteur et tomber autour de lui en suivant une trajectoire presque verticale, légèrement inclinée de l'ouest à l'est. Il fut témoin de ce phénomène pendant environ dix minutes, mais la pluie de feuilles avait probablement commencé avant sa sortie. Une pièce d'eau voisine sur laquelle ces feuilles surnageaient en montrait au moins une par mètre carré.

Ce phénomène paraît être une conséquence d'une très-forte bourrasque arrivée le 3 avril; les feuilles de chêne soulevées par un tourbillon et transportées dans les hautes régions de l'atmosphère ont été soutenues par le vent pendant six jours, et sont tombées lorsque le calme s'est rétabli.

Cette pluie de feuilles de chêne me remet en mémoire une pluie d'oranges.

Le 8 juillet 1833, une trombe qui s'était formée sur la mer à la pointe de Pausilippe, près de Naples, fit irruption sur le rivage et vida complétement deux grandes corbeilles d'oranges; quelques instants après, et à une assez grande distance de

là, une jeune fille qui se trouvait sur une terrasse, vit une pluie d'oranges tomber autour d'elle : phénomène beaucoup plus gracieux qu'une pluie de grenouilles et de crapauds, mais plus étonnant encore, puisque les oranges sont bien plus volumineuses et plus lourdes que ceux de ces animaux qu'on a vus figurer dans les pluies d'orage.

Après les pluies de végétaux, voici maintenant des observations plus curieuses encore et constatées d'une manière irréfutable. Ce sont des *pluies d'animaux vivants*.

Déjà nous avons vu au chapitre des Trombes, p. 610, que ces météores peuvent soulever l'eau des étangs avec les poissons qu'elle contient. Le météorologiste Peltier raconte qu'il reçut un jour sur la tête des grenouilles apportées par une trombe. C'était à Ham, en 1835, et le fait fut dûment constaté. Citons-en un, beaucoup plus récent.

Dans la nuit du 29 au 30 janvier 1869, vers $4^h\ 30^m$ du matin, après un violent coup de vent, la neige est tombée jusqu'au jour (Arache, Haute-Savoie), et le matin, on a trouvé sur cette neige une grande quantité de larves vivantes. Elles n'ont pu éclore dans les environs, car les jours précédents la température avait été très-basse ; le 24 janvier, le thermomètre avait marqué 16 degrés, et les jours suivants une moyenne de 5 degrés à sept heures du matin. Elles paraissent être pour la plupart celles du *Trogosita mauritanica*, qui est commun sur les vieux bois dans les forêts du midi de la France. On a trouvé aussi quelques chenilles d'un petit papillon de la tribu des noctuéliens, probablement du *Stibia stagnicola*. Cette chenille parvient à toute sa grosseur dans le courant de février, et habite le centre et le midi de la France.

Cette pluie d'insectes à Arache, à une altitude de 1000 à 1200 mètres, ne peut s'expliquer que par un vent violent qui les a transportés de quelque localité du midi de la France.

M. Tissot, instituteur communal, qui a observé ce phénomène, ajoute que, dans le courant de novembre 1854, par un vent violent, plusieurs milliers d'insectes, en grande partie vivants, vinrent s'abattre sur un bosquet des environs de Turin. Les uns étaient à l'état de larve et les autres à l'état d'insecte parfait, et appartenaient tous à une espèce de l'ordre des hémiptères qui n'a jamais été trouvée que dans l'île de Sardaigne.

Les auteurs anciens ont rapporté plusieurs exemples de ces chutes d'insectes.

Phanias, cité par Porta, rapporte que dans la Chersonèse il est tombé, pendant trois jours, une pluie de poissons.

Dans Athénée, Philarcus raconte avoir vu tomber du ciel des poissons et des grenouilles en grande quantité et en plusieurs lieux. Le même auteur fait la citation suivante : « Héraclide Lembus, au vingt-unième livre des Histoires, dit que Dieu fit pleuvoir des grenouilles autour de la Pœnie et de la Dardanie, en si grande quantité que les maisons et les chemins en étaient remplis. On ferma les habitations et on en tua un grand nombre ; on en trouvait mêlées aux aliments, et cuits avec eux ; les eaux en étaient remplies ; on ne pouvait poser le pied à terre. La décomposition de leurs cadavres donna une odeur tellement infecte, qu'il fallut déserter le pays.

Varro affirme que tous les habitants d'une certaine ville de la Gaule furent chassés de leurs maisons par d'innombrables grenouilles tombées du ciel.

Scaliger dit que la ville de Mirabel, en Aquitaine, fut, de son temps, remplie de

grenouilles imparfaites (têtards) tombées du ciel. Jonston raconte, suivant le rapport de son précepteur, que dans l'île d'Aucland (Frise) « où ne vit aucune grenouille, » il en tomba avec la pluie. Olaus Magnus dit aussi que des nuages il tombe souvent des grenouilles, des vers, des poissons dans les régions du nord plus qu'ailleurs, à cause de la viscosité des nuages et de la chaleur qu'ils reçoivent du principe sulfureux.

Fromond prétend qu'aux portes de Tournay, en 1625, étant avec plusieurs de ses amis, une pluie subite tomba sur une poussière sèche, et fit paraître tout à coup une telle armée de grenouilles, que de tous côtés on ne voyait presque autre chose, toutes de même grandeur et de même couleur.

Porta dit avoir vu souvent, entre Naples et Pouzzoles, des grenouilles prendre naissance au milieu de la poussière sèche subitement détrempée par la pluie. Cette particularité, ajoute-t-il, est connue de beaucoup d'habitants de ces deux villes (Grellois).

Ces apparitions subites de grenouilles et de crapauds sont dues la plupart du temps à ce que ces animaux sortent volontiers de leurs bas-fonds après les pluies d'orage, et peuvent facilement traverser des routes. Ce n'est qu'en des circonstances extrêmement rares que des trombes peuvent enlever des poissons ou des grenouilles.

Les pluies de sauterelles sont dues à des caravanes volantes de ces orthoptères, du criquet nomade surtout. Ces insectes deviennent le fléau de l'agriculture. Ils arrivent, soutenus par les vents, ils s'abattent, et changent en désert aride la contrée la plus fertile. Vues de loin, leurs bandes innombrables ont l'aspect de nuages orageux. Ces nuées sinistres cachent le soleil. Aussi haut et aussi loin que les yeux peuvent porter, le ciel est noir et le sol inondé de ces insectes. Le bruissement de ces millions d'ailes est comparable au bruit d'une cataracte. Quand l'horrible armée se laisse tomber à terre, les branches des arbres cassent. En quelques heures, et sur une étendue de plusieurs lieues, toute végétation a disparu. Les blés sont rongés jusqu'à la racine, les arbres dépouillés de leurs feuilles. Tout a été détruit, scié, haché, dévoré. Quand il ne reste plus rien, le terrible essaim s'enlève, comme à un signal donné, et repart, laissant derrière lui le désespoir et la famine.

Il arrive souvent qu'après avoir tout ravagé, ils périssent de faim avant l'époque de la ponte. Leurs innombrables cadavres, amoncelés et échauffés par le soleil, ne tardent pas à entrer en putréfaction. Par les exhalaisons infectes qui s'en dégagent, des maladies épidémiques se déclarent, qui déciment les populations.

En 1690, les sauterelles arrivèrent en Pologne et en Lithuanie, par trois endroits et comme en trois corps. « Il s'en trouva en certains lieux, écrivait l'abbé de Ussans, témoin oculaire, où elles étaient mortes les unes sur les autres, jusqu'à quatre pieds de hauteur. Celles qui étaient vivantes se perchant sur les arbres, faisaient ployer les branches jusqu'à terre. »

En 1749, ces criquets arrêtèrent l'armée de Charles XII, roi de Suède, en retraite dans la Bessarabie, après sa défaite de Pultawa. Le roi se croyait assailli par un orage de grêle lorsqu'une nuée de ces insectes s'abattit brusquement sur son armée. L'arrivée des criquets avait été annoncée par un sifflement pareil à celui qui précède une tempête, et le bruissement de leur vol couvrait la voix de la mer Noire. Toutes les campagnes furent bientôt désolées sur leur passage.

Dans le midi de la France les criquets se multiplient quelquefois si prodigieusement, qu'on peut remplir en peu de temps plusieurs barils de leurs œufs. Ils ont causé, à diverses époques, d'immenses dégâts. C'est notamment dans les années 1805, 1820, 1822, 1824, 1825, 1832 et 1834, que leurs apparitions ont été redoutables dans le midi de la France.

Mézeray rapporte qu'au mois de janvier 1613, sous Louis XIII, les sauterelles firent invasion dans la campagne d'Arles. En sept ou huit heures, les blés et les fourrages furent dévorés jusqu'à la racine, sur une étendue de pays de 15 000 ar-

pents. Elles passèrent ensuite le Rhône, vinrent à Tarascon et à Beaucaire, où elles mangèrent les plantes potagères et la luzerne. Puis elles se transportèrent à Aramon, à Monfrin, à Valabrègues, etc., où elles furent heureusement détruites en grande partie par les étourneaux et d'autres oiseaux insectivores, accourus, par bandes immenses, à cette curée formidable.

Les consuls d'Arles et de Marseille firent ramasser les œufs. Arles dépensa, pour cette chasse, 25 000 francs, et Marseille 20 000 francs. 3000 quintaux d'œufs furent enterrés ou jetés dans le Rhône. En comptant 1 750 000 œufs par quintal, cela donnerait un total de 5 milliards 250 millions de sauterelles détruites en germe, et



Fig. 205. — Pluie de sauterelles.

qui, sans cela, auraient bientôt renouvelé les ravages dont le pays venait d'être victime.

En 1825, dans le territoire des Saintes-Maries, non loin d'Aigues-Mortes, sur le bord de la Méditerranée, 1518 sacs de blé furent remplis de sauterelles mortes, d'un poids de 68 861 kilogrammes; 165 sacs, ou 6600 kilogrammes, furent ramassés à Arles.

On trouve toujours des sauterelles en Algérie, dans les provinces d'Oran, Bone, Alger, Bougie; mais elles ne vont pas jusqu'à produire ces invasions terribles qui changent en désert les lieux cultivés. Il y a en Algérie des années à sauterelles, comme il y a chez nous des années à hannetons, à altises, à chenilles, etc. Ces

fléaux sont heureusement assez rares. Les plus terribles ont eu lieu en 1845 et en 1866.

On a vu aussi de véritables pluies de hannetons descendre comme d'un nuage épais et couvrir les campagnes, les routes et les chemins.

Comme pour les sauterelles, ce sont aussi des essaimages d'une province à une autre. Des troupes de ces coléoptères, non pas soulevées par une trombe, mais ordinairement aidées par le vent, émigrent d'un pays lorsqu'elles ont tout dévasté et qu'elles ont fait table rase.

Pour donner une idée du nombre prodigieux auquel les hannetons arrivent dans certaines circonstances, nous rapporterons quelques dates historiques.



Fig. 206. — Pluie de hannetons.

En 1574, ces insectes furent si abondants en Angleterre, qu'ils empêchèrent plusieurs moulins de tourner sur la Savern.

En 1688, dans le comté de Galway, en Irlande, ils formaient un nuage si épais, que le ciel en était obscurci l'espace d'une lieue, et que les paysans avaient peine à se frayer un chemin dans les endroits où ils s'abattaient. Ils détruisirent toute la végétation, de sorte que le paysage revêtit l'aspect désolé de l'hiver. Leurs mâchoires voraces faisaient un bruit comparable à celui que produit le sciage d'une grosse pièce de bois; et le soir le bourdonnement de leurs ailes ressemblait à des roulements lointains de tambours. Les malheureux Irlandais furent réduits à faire cuire leurs envahisseurs et à les manger à défaut d'autre nourriture.

En 1804, d'immenses nuées de hannetons, précipitées par un vent violent dans le lac de Zurich, formèrent sur le rivage un banc épais de corps amoncelés, dont les exhalaisons putrides empestaient l'atmosphère.

En 1832, le 18 mai, à neuf heures du soir, une légion de hannetons assaillit une diligence, sur la route de Gournay à Gisors, à sa sortie du village de Talmontiers, avec une telle violence, que les chevaux, aveuglés et épouvantés, refusèrent d'avancer, et que le conducteur fut obligé de rétrograder jusqu'au village, pour y attendre la fin de cette grêle d'un nouveau genre (FIGUIER, *les Insectes*).

Telle est la série des pluies de sang, de terre, de végétaux et d'animaux que l'histoire de la météorologie peut enregistrer. Nous nous arrêterons ici. De même que dans le chapitre précédent nous avons vu des écrivains parler de grêlons de la grosseur d'un éléphant, de même ici l'exagération a parfois décuplé et centuplé les effets authentiques. Ainsi, quelle que soit la fabuleuse force que le vent puisse acquérir, nous laisserons dans le domaine de la fable l'histoire d'Avicenne, ce prince des médecins arabes, qui affirme avoir vu tomber des nuages le corps entier d'un *veau*. Cependant Xavier de Maistre rapporte sérieusement qu'une jeune fille a été enlevée par une trombe en 1820; c'est plus aérien et plus accessible à la prise du zéphire homérique; la question serait de savoir jusqu'à quelle hauteur la vierge légère a été enlevée. Déjà Cabeus, au dix-septième siècle, avait rapporté qu'à Mantoue, vers 1618, un vent violent enleva une femme qui lavait son linge dans le lac. Même question que tout à l'heure. En fait de gros animaux, la plus audacieuse histoire de ce genre est encore la plus ancienne: celle du lion de Némée tombant de la Lune dans le Péloponèse.... Des centaines de kilogrammes tombent parfois du ciel, il est vrai, comme nous l'avons vu par les aérolithes. Mais les autres mondes ne nous ont encore envoyé que des pierres. Les animaux, poissons, insectes, graines, feuilles, tombés du ciel sont originaires de la Terre, quel que soit le plaisir que nous aurions à recevoir des échantillons des règnes animal et végétal de Mars ou de Jupiter.

LIVRE SIXIÈME

L'ÉLECTRICITÉ

LES ORAGES ET LA FOUDRE

CHAPITRE I.

L'ÉLECTRICITÉ SUR LA TERRE ET DANS L'ATMOSPHÈRE.

ÉTAT ÉLECTRIQUE DU GLOBE TERRESTRE. — DÉCOUVERTE DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE. — EXPÉRIENCES D'OTTO DE GUÉRICKE, WALL, NOLLET, FRANKLIN, ROMAS, RICHMANN, SAUSSURE, ETC. — ÉLECTRICITÉ DU SOL, DES NUAGES, DE L'AIR. — FORMATION DES ORAGES.

Dans les premiers Livres de cet ouvrage, nous avons appris à apprécier l'air considéré en lui-même, son œuvre dans la nature, son importance dans la vie terrestre. Nous avons ensuite étudié la distribution de la chaleur sur le globe et dans l'Atmosphère, et reconnu l'action permanente de cette force colossale qui meut sans cesse la grande usine au fond de laquelle nous respirons. Plus tard, notre attention s'est portée sur un élément non moins considérable, sur l'eau, examinée dans sa répartition sur le globe et dans l'Atmosphère, unissant toujours dans notre contemplation le globe solide et le fluide vital qui l'entoure, puisque leur action réciproque s'enchaîne étroitement et qu'en étudiant l'Atmosphère nous n'avons pas d'autre but ni d'autre résultat, en définitive, que d'étudier la vie terrestre elle-même dans son ensemble général. Nous arrivons maintenant à l'agent le plus merveilleux et le plus singulier qui existe, dont l'étude complétera et fermera l'immense panorama que nous avons développé dans cet ouvrage. Voici maintenant *l'électricité*, les orages et la foudre. Son étude n'est pas la moins compliquée; mais nous serons récompensés de notre attention par les spectacles prodigieux qui se révéleront à nos regards. Examinons d'abord, suivant notre méthode générale, sa distribution sur la Terre et dans l'Atmosphère.

Mais, en entrant dans son domaine, rendons-nous compte d'abord de son histoire, assez curieuse.

Nous pourrions sans doute remonter jusqu'à Numa Pompilius, qui paraît avoir, comme les Étrusques, connu l'affinité de la foudre pour les pointes, sa conductibilité par le fer, et essayé lui-même de détourner la foudre comme nous le faisons aujourd'hui par les paratonnerres. Nous pourrions mettre en scène son successeur le roi Tullus Hostilius, foudroyé comme le fut le physicien Richmann, au siècle dernier, pour avoir manqué à certains rites, c'est-à-dire à certaines précautions sans lesquelles il est dangereux de jouer avec la foudre. Nous pourrions enfin raconter comment les Romains avaient interprété les différentes espèces d'éclairs et de coups de tonnerre, en les divisant en foudres nationales, foudres individuelles, foudres de famille, foudres de conseil, foudres d'autorité, foudres monitoires, postulatoires, confirmatoires, auxiliaires, foudres désagréables, perfides, pestiférées, menaçantes, meurtrières, etc., etc. Mais cet ouvrage est déjà trop volumineux, et je crains, mon cher lecteur, qu'il n'abuse déjà fort de votre patience éprouvée; nous voici à la page 716, ce qui m'épouvante moi-même, et ce qui me désespérerait, si je n'avais apprécié l'immensité du monde atmosphérique dans les six cents lieues que j'ai faites en ballon. Malgré tout, il faut pourtant s'arrêter, même au milieu des plus magnifiques paysages, même au milieu des promenades douces et pensives du soir : il faut s'arrêter, mais cependant voir le plus possible, comme nous avons essayé de le faire en embrassant le spectacle de la nature, depuis les resplendissantes œuvres du soleil d'été jusqu'aux clartés mortes du silencieux clair de lune. Nous nous reposerons bientôt; mais nous n'aurions pas apprécié l'œuvre de l'Atmosphère dans son étendue, si nous ne voyions pas un orage fondre sous nos yeux, éclater dans sa fureur au sein des nuages déchirés, précipiter la foudre dans ses convulsions étourdissantes, et disparaître épuisé par des décharges multipliées. De tous les phénomènes atmosphériques, nuls ne mettent en jeu des forces à la fois plus subtiles et plus formidables, plus brusques d'une part, plus judicieuses et plus méthodiques d'autre part. C'est à n'y rien comprendre : depuis Robert-Houdin jusqu'aux somnambules extralucides, aucun tour de prestidigitation, aucun phénomène médianimique peut-être, n'est supérieur aux actes de la foudre.

Nous disions qu'il serait superflu de remonter aux anciens dans la relation qui va nous occuper. Nous ne pouvons omet-

tre aussi facilement les modernes. Voyons en deux mots cette histoire.

Otto de Guéricke, bourgmestre de Magdebourg, et célèbre inventeur de la machine pneumatique, fut le premier qui découvrit, vers 1650, quelque apparence de lumière électrique. Le docteur Wall, presque à la même époque, en excitant l'électricité sur un grand cylindre d'ambre, observa une étincelle plus vive et un bruit beaucoup plus fort; et, chose digne de remarque, cette première étincelle produite par la main des hommes fut à l'instant comparée aux éclats de la foudre. Cette lumière et ce craquement, dit Wall dans son Mémoire (*Trans. philos.*), paraissent en quelque façon représenter le tonnerre et l'éclair. L'analogie était frappante, il ne fallait que de l'imagination pour la saisir; mais, pour en démontrer la vérité, pour trouver dans un phénomène si petit les causes et les lois du plus grand phénomène de la nature, il fallait une série de preuves que l'on ne pouvait attendre que d'un génie supérieur. Cependant plusieurs physiciens cherchaient ces preuves dans des rapprochements plus ou moins ingénieux : les uns remarquaient que l'étincelle est *crochue* comme l'éclair, d'autres pensaient que le tonnerre est entre les mains de la nature ce que l'électricité est entre les nôtres : « J'avoue que cette idée me plairait beaucoup, disait l'abbé Nollet, si elle était bien soutenue; et, pour la soutenir, combien de raisons spécieuses ! » Enfin, tout se passait en raisonnements qui ne pouvaient rien conclure, parce qu'en physique c'est l'expérience seule qui doit donner ses conclusions. Pendant que l'on raisonnait ainsi en Europe et dans tout l'ancien monde savant sur cette grande question, l'on expérimentait en Amérique, chez un peuple nouveau, à peine connu dans les sciences, et ces expériences s'attaquaient directement à la foudre. Franklin trouvait le moyen de la faire descendre du ciel pour l'interroger elle-même sur son origine. Après avoir fait plusieurs découvertes électriques, particulièrement sur la bouteille de Leyde et sur le pouvoir des pointes, Franklin eut la pensée hardie d'aller chercher l'électricité au sein des nuages; il avait conclu de quelques expériences décisives qu'une tige de métal pointue, élevée à une grande hauteur, au sommet d'un édifice, devait recevoir l'électricité des nuées orageuses. Il attendait avec une grande anxiété la construction d'un clocher que l'on devait à cette époque élever à Philadelphie; mais, lassé d'attendre et impatient d'exécuter une expérience qui devait lever tous les doutes, il eut recours à un autre moyen plus expéditif et non moins sûr pour les résul-

tats. Comme il ne s'agissait que de porter un corps dans la région du tonnerre, c'est-à-dire à une assez grande hauteur dans les airs, Franklin imagina que le cerf-volant, dont s'amusent les enfants, pourrait lui servir aussi bien qu'aucun clocher que ce pût être. Il prépara donc deux bâtons en croix, un mouchoir de soie, une corde d'une longueur convenable, et, profitant du premier orage, il s'en fut dans les champs tenter l'expérience. Une seule personne l'accompagnait : c'était son fils. Craignant le ridicule dont on ne manque pas de couvrir les essais infructueux, comme il le dit avec ingénuité, il n'avait voulu mettre personne dans sa confidence. Le cerf-volant était lancé. Un nuage qui promettait beaucoup n'avait produit aucun effet, d'autres nuages s'avançaient, et l'on peut ju-

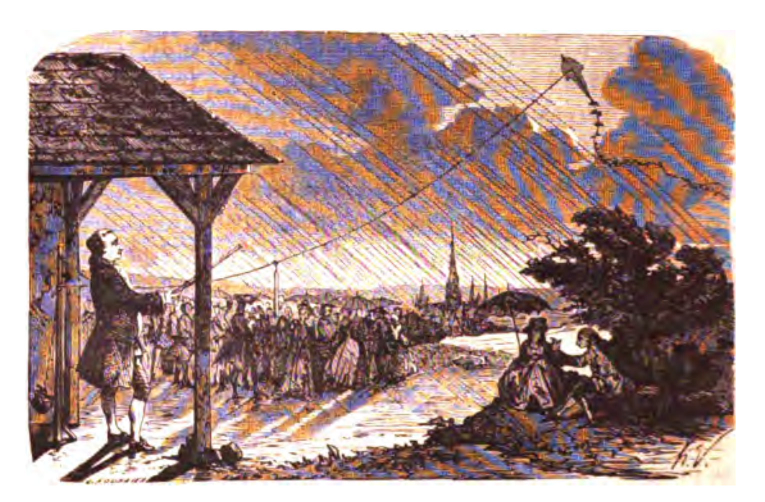


Fig. 207. — Expérience de Franklin et de Romas.

ger de l'inquiétude avec laquelle ils étaient attendus. Tout paraissait tranquille, on ne voyait aucune étincelle, aucun signe électrique; à la fin cependant quelques filaments de la corde commençaient à se soulever comme s'ils eussent été repoussés; un petit bruissement se fit entendre : encouragé par ces apparences électriques, Franklin présente le doigt à l'extrémité de la corde et voit paraître à l'instant une vive étincelle qui fut bientôt suivie de plusieurs autres. Ainsi, pour la première fois, le génie de l'homme put se jouer avec la foudre et surprendre le secret de son existence.

L'expérience de Franklin eut lieu en juin 1752, elle fut répétée dans tous les pays savants, et partout avec le même succès. Un magistrat français, de Romas, assesseur au présidial de Nérac,

profitant de la première pensée de Franklin, qui avait été publiée en France, avait imaginé aussi de substituer le cerf-volant aux barres élevées; et, dès le mois de juin 1753, avant d'avoir connaissance des résultats de Franklin, il avait obtenu des signes électriques très-énergiques, parce qu'il avait eu l'heureuse idée de mettre un fil de métal dans toute la longueur de la corde, qui mesurait 260 mètres. Plus tard, en 1757, de Romas répéta de nouveau ces expériences pendant un orage, et cette fois il obtint des étincelles d'une grandeur surprenante. « Imaginez-vous de voir, dit-il, des lames de feu de neuf ou dix pieds de longueur et d'un pouce de grosseur, qui faisaient autant ou plus de bruit que des coups de pistolet. En moins d'une heure, j'eus certainement trente lames de cette dimension, sans compter mille autres de sept pieds et au-dessous. » Un grand nombre de personnes, des dames auxquelles l'orage ne faisait pas peur, assistaient aux expériences, dont la nature faisait elle-même les frais.

Ces essais n'étaient pas sans danger, comme on le devine facilement. Romas fut une fois renversé par une décharge trop forte, mais sans recevoir de blessure grave. Il n'en fut pas de même de Richmann, membre de l'Académie des sciences de Pétersbourg, qui perdit la vie dans une de ses expériences. Il avait fait descendre du toit de sa maison dans son cabinet de physique une tige de fer isolée qui lui amenait l'électricité atmosphérique, dont il mesurait chaque jour l'intensité. Le 6 août 1753, au milieu d'un violent orage, il se tenait à distance de la barre pour éviter les fortes étincelles et attendait le moment de la mesurer quand, son graveur étant entré inopinément, Richmann fit vers lui quelques pas qui l'approchèrent trop du conducteur. Un globe de feu bleuâtre, gros comme le point, vint le frapper au front et l'étendit raide mort.

Depuis cent ans l'étude de l'électricité a été doublement poursuivie par des expériences faites dans les laboratoires de physique, d'une part, et dans l'Atmosphère, d'autre part. On sait à quels splendides résultats, à quelles merveilleuses conséquences les premières sont parvenues : la télégraphie électrique, qui nous fait causer à voix basse avec nos voisins d'Amérique et porte la pensée humaine et les palpitations de la vie des peuples à travers le monde civilisé tout entier ! la galvanoplastie, qui reproduit fidèlement les chefs-d'œuvre de la statuaire et de la gravure, en sont les deux plus importantes applications. Les expériences sur l'électricité atmosphérique, consacrées à des phénomènes plus complexes

et plus puissants, ont conduit à acquérir une notion exacte des états de cette électricité et de ses manifestations diverses.

L'électricité est une *force* dont la nature intime, comme celle de la lumière, comme celle de la chaleur, comme celle de l'attraction, nous reste inconnue. Cette *force* produit des effets; et c'est l'étude de ces effets qui constitue la science. Pour expliquer ces effets, on admet : 1° que l'électricité est un fluide subtil, susceptible de s'amonceler, de se condenser, de se raréfier, de se décharger d'un corps sur un autre, de franchir d'immenses distances avec une vitesse qu'on a trouvée être supérieure encore à celle de la lumière, qui est pourtant déjà de 77 000 lieues par seconde; 2° que ce fluide a deux modes d'existence, deux modes de manifestations, que l'on distingue en appelant l'un *positif* et l'autre *négatif*. Ce sont là des distinctions qui n'existent pas dans la nature et qui ne sont causées pour nos sens que par des variations d'intensité relatives. Quoi qu'il en soit, on a constaté que les électricités *contraires s'attirent,* tandis que les électricités *similaires se repoussent.* La réunion de quantités égales de fluides de nom contraire forme du fluide *neutre,* ou naturel, que l'on suppose exister dans tous les corps en quantité inépuisable. Sous diverses influences, parmi lesquelles il faut citer le frottement, le fluide neutre se décompose en ces deux éléments. Le globe terrestre et l'atmosphère sont deux grands réservoirs d'électricité, entre lesquels il y a des échanges perpétuels de décomposition et de reconstitution, qui jouent dans la vie des plantes et des animaux un rôle complémentaire de l'œuvre de la chaleur et de l'humidité.

Le résultat général des recherches sur l'état de l'électricité à la surface du globe et dans l'Atmosphère est que dans l'état normal le globe terrestre est chargé d'électricité *négative,* tandis que l'Atmosphère est occupée par l'électricité *positive.* A la surface du sol, où s'opèrent des échanges continuels, l'électricité est à l'état neutre, ainsi que dans la couche d'air inférieure en contact avec la surface, sur les continents comme sur les mers. L'électricité positive augmente dans l'Atmosphère avec la hauteur.

L'évaporation considérable que nous avons vue s'effectuer à la surface des mers dans les régions équatoriales charge d'électricité positive les nuages, qui, transportés par les courants supérieurs, marchent vers les régions polaires et chargent leur Atmosphère d'une accumulation de cette électricité. L'influence de cette électricité positive détermine dans le sol des régions polaires une condensation contraire d'électricité négative. Les aurores boréales sont

dues surtout à ces deux tensions opposées : c'est une reconstitution silencieuse mais visible du fluide naturel par les deux tensions contraires de l'Atmosphère et du sol ; aussi l'apparition des aurores

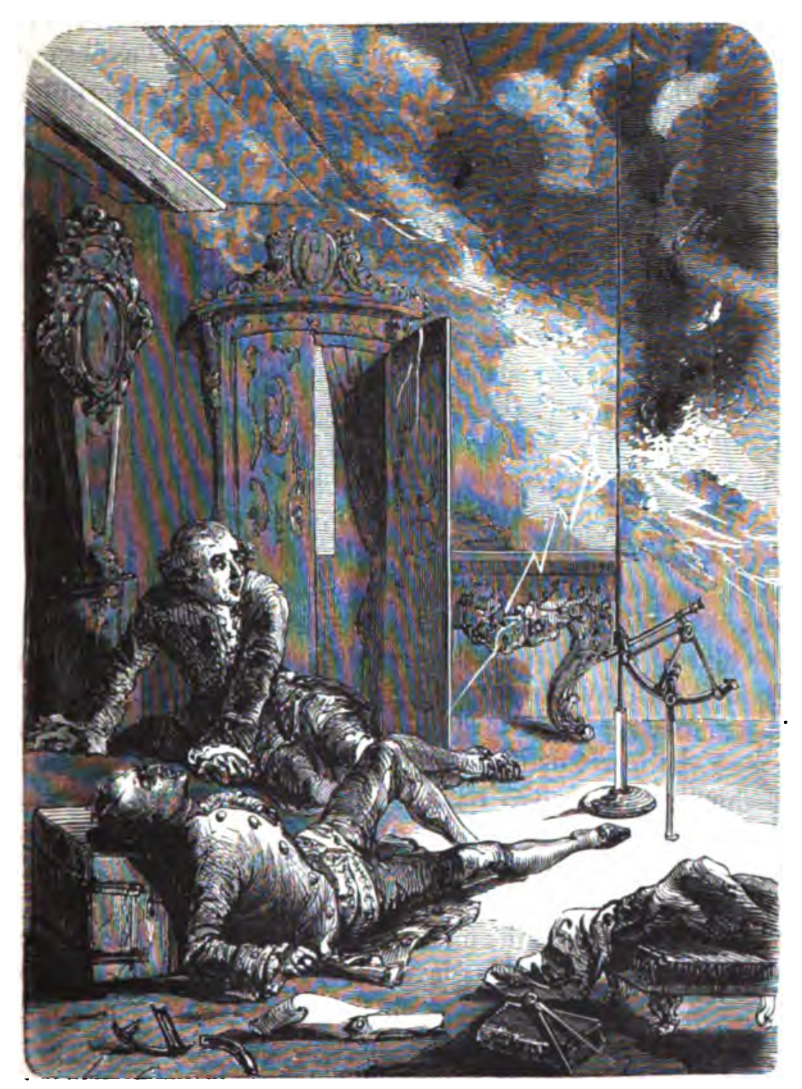


Fig. 208. — Le physicien Richmann foudroyé pendant une expérience.

boréales est-elle accompagnée de courants électriques circulant dans le sol à une distance assez grande pour que les mouvements de l'aiguille aimantée indiquent à l'Observatoire de Paris, par exemple, une aurore qui se produit en Suède ou en Norvége.

De l'électrisation positive des nuages résulte un état analogue pour les nuages. Cependant on voit parfois des nuages négatifs. Il n'est pas rare de remarquer aux sommets des montagnes des nuages qui y adhèrent comme s'ils y étaient attirés, s'y arrêtent, puis s'en détachent pour suivre le mouvement général des vents. Il arrive souvent que dans ce cas les nuages ont perdu leur électricité positive en se mettant en contact avec les montagnes et ont pris en revanche l'électricité négative de celles-ci, qui, loin de continuer à les retenir, a une tendance à les repousser. D'autre part, une couche de nuages située entre le sol, négatif, et une couche supérieure, positive, est presque neutre, son électricité positive s'accumule vers sa surface inférieure, et les premières gouttes de pluie les feront disparaître. Cette couche se comportera dès lors comme la surface du sol, c'est-à-dire qu'elle deviendra négative sous l'influence de la couche supérieure, douée d'une forte tension positive. Mais, en général, les nuages sont chargés d'électricité positive.

L'électricité atmosphérique subit, comme la chaleur, comme la pression atmosphérique, une double oscillation annuelle et diurne, et des oscillations accidentelles plus considérables que les régulières. Le maximum arrive de 6 à 7 heures du matin en été et de 10 heures à midi en hiver ; le minimum arrive entre 5 et 6 heures du soir en été, et vers 3 heures en hiver. On remarque ensuite un second maximum au coucher du soleil, puis une diminution pendant la nuit jusqu'au lever du soleil. Cette oscillation est liée à celle de l'état hygrométrique de l'air. Dans la variation annuelle, le maximum arrive en janvier, et le minimum en juillet: elle est due à la grande circulation atmosphérique; l'hiver est l'époque où les courants équatoriaux ont le plus d'activité dans notre hémisphere. alors les aurores boréales sont le plus nombreuses.

Comme les états positifs ou négatifs de l'électricité, accusés aux appareils construits pour mesurer l'intensité de cet agent, ne sont qu'un rapport en plus ou en moins entre deux charges différentes, il en résulte que lorsqu'un nuage électrisé positivement passe au-dessus de nos têtes et se résout en pluie, l'air peut accuser de l'électricité négative avant et après la pluie, et même pendant, selon l'intensité de la charge du nuage. On peut se représenter cet état de choses avec M. Quételet par le raisonnement suivant :

ABCDE est le sol que nous supposons à l'etat neutre. La couche d'air A'B'C'D'E', parallèle au sol, est électrisée positivement, en l'absence de nuages, et également dans toutes ses parties.

La couche A''B''C''D''E'', plus élevée, est aussi électrisée positivement et avec plus d'intensité. Survient un nuage, B'C'D', électrisé positivement, mais plus que l'air ambiant : il en résulte que relativement à lui l'air qui l'avoisine montrera une électricité négative.

Pour un observateur placé en A, l'électricité, placée au-dessus du sol, marquera de l'électricité positive. A mesure que le nuage approchera, ces indications diminuant, elles deviendront bientôt nulles, et même négatives au commencement du passage du nuage. Mais la pluie ramènera de l'électricité positive. Une variation correspondante se manifestera quand la pluie cessera et que le nuage

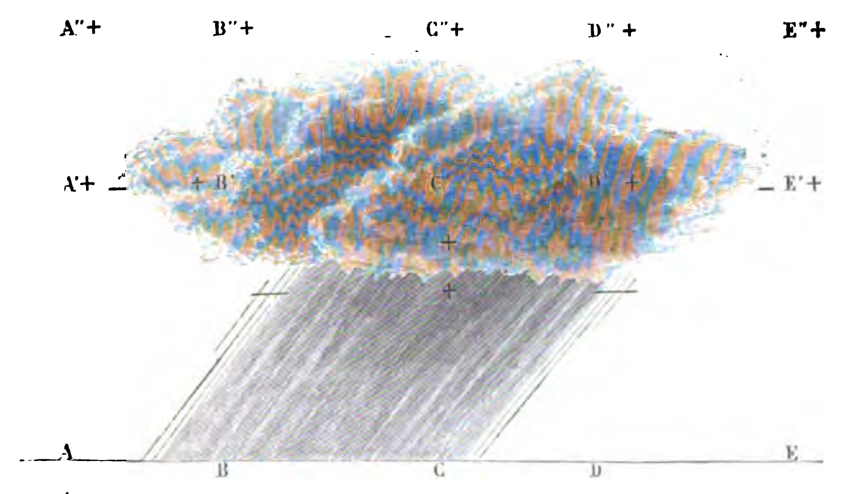


Fig. 209.—Variation de l'électricité atmosphérique sous l'influence des nuages et de la pluie

s'éloignera ; en D les indications seront négatives ; en E elles redeviendront positives.

Nous avons vu, dans notre Livre IV, que les conflits des grands courants de l'Atmosphère dans les régions tropicales, où s'opère le nœud du circuit accompli de l'équateur aux pôles, que l'évaporation des océans causée par la chaleur solaire en ces foyers de condensation, que la variation de la pression atmosphérique, etc., engendrent les mouvements cycloniques, les ouragans, les tempêtes, dont la marche tourbillonnante s'élève jusqu'à nos latitudes tempérées. Ces mouvements énergiques développent l'électricité en d'immenses proportions, et il est rare que l'orage, les éclairs et le tonnerre n'accompagnent pas ces météores. La formation des nuages, sur l'océan et les continents, les brouillards de nos con-

trées, la marche des nuées sur nos vallées et nos montagnes, dégagent également des quantités variables d'électricité. Il y a *orage* lorsque cette électricité des nuages, au lieu de s'échanger et de s'écouler tranquillement, s'amoncelle en certains points, se condense, sature en quelque sorte les nuées, et finit par éclater brusquement pour se réunir à l'électricite négative amoncelée en même temps soit sur le sol, soit dans d'autres nuages.

Les grands orages nous arrivent tout formés de l'Atlantique ; ils proviennent des cyclones, et les nuages qui les portent sont généralement à une hauteur supérieure à 1000 et 1500 mètres, marchant du sud ouest au nord-est, sans paraître dérangés par le relief du sol français. Les orages secondaires, qui se forment dans nos contrées mêmes, sont portés par des nuages dont la hauteur est inférieure à la précédente et parfois même rasent presque le sol, si bien qu'ils subissent son influence, ne passent qu'avec peine par-dessus les montagnes, et suivent les vallées, auxquelles ils distribuent sans parcimonie les coups de foudre et les averses de grêle.

La formation des orages est précédée d'une baisse lente et continue du baromètre. Le calme de l'air et une chaleur étouffante, qui tient au manque d'évaporation de la surface de notre corps, sont des circonstances tout à fait caractéristiques. Les variations de l'état électrique du sol et de l'atmosphère, d'ailleurs jointes aux précédentes, agissent puissamment sur notre organisation. Une anxiété singulière, indépendante de toute crainte motivée, s'empare de certaines constitutions nerveuses, qui font de vains efforts pour s'en défendre. C'est surtout dans ces circonstances que l'on reconnaît combien sont intimement liés le physique et le moral de l'homme.

 Hachette & Cie



Eug Ciceri pinxt — Eug Ciceri Chromolith

L'ORAGE

CHAPITRE II.

LES ÉCLAIRS ET LE TONNERRE.

Lorsque l'électricité se dégage d'un nuage surabondamment chargé, et se précipite soit sur un autre nuage, soit sur un point du sol chargé d'électricité contraire, il y a production de lumière électrique, étincelle rapide que nous faisons apparaître en petit dans nos expériences de physique. Cette étincelle franchit instantanément la distance quelconque qui sépare les deux points électrisés : on a constaté qu'elle ne dure pas un dix-millième de seconde. C'est cette étincelle électrique qui constitue *l'éclair;* c'est par elle que la foudre se manifeste pendant les orages.

En général, les éclairs ne nous apparaissent le plus fréquemment que sous la forme d'une lueur subite diffuse illuminant les nuages, le ciel et la terre, qui retombent immédiatement dans une ombre plus épaisse qu'auparavant, à cause du contraste. Soit que dans ce cas l'échange de l'électricité entre les nuages opère à la fois sur une grande surface qui s'illumine et s'éteint instantanément, soit qu'il y ait une étincelle comme dans les éclairs en ligne et qu'elle soit cachée par les nuages, on ne voit toujours dans ce cas, qui est le plus fréquent, qu'une clarté subite diffuse, sur laquelle se détachent un instant les contours plus ou moins accentués des nuages.

Ces éclairs diffus sont les plus communs; on en voit des centaines dans une journée, ou plutôt une nuit d'orage, pour un seul éclair linéaire. Celui-ci cependant est l'éclair caractéristique par excellence.

Ce n'est qu'une forte étincelle électrique, une petite boule de

feu qui s'élance du nuage surchargé sur la terre, ou d'un nuage à un autre, ou même qui monte de la terre aux nuages ; la rapidité de son trajet produit l'effet d'une ligne mince et lumineuse. Il est rare que ce trajet s'effectue en ligne droite, malgré l'axiome du plus court chemin : soit à cause de la distribution variable de l'humidité dans l'air, qui le rend plus ou moins bon conducteur, soit à cause de la variabilité de la surcharge électrique des différents points du sol et des nuages, l'éclair se montre presque toujours en zigzag. Le subtil fluide nous montre dans ses faits et gestes à

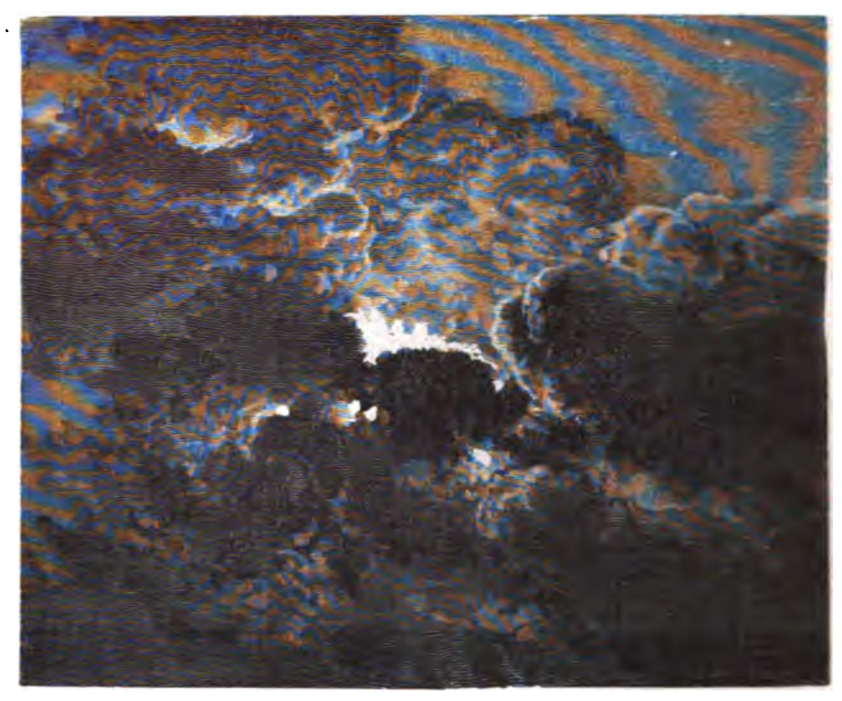


Fig. 210. — Éclair diffus.

travers nos habitations, qu'il saute subitement d'un point à un autre, puis à un autre encore, comme par caprice, mais évidemment en obéissant aux lois de la distribution et de la conductibilité de l'électricité. Le plus souvent les éclairs linéaires sont à zigzags à angles obtus, ou bien ils serpentent, sinueux et ondulés. Parfois ils se bifurquent en deux ou plusieurs branches. Nicholson et l'abbé Richard ont observé des éclairs fourchus. Parfois, et plus rarement, ils se bifurquent en trois branches; Arago en cite plusieurs exemples, surtout dans des orages volcaniques ; Kaemtz en a vu une fois en sa vie. Parfois encore ils se ramifient en quatre

et cinq branches, ou bien les branches issues de l'éclair primitif se ramifient en plusieurs petites branches latérales. M. Liais en a observé et dessiné à cinq branches.

Les éclairs ne sont pas toujours d'un blanc éblouissant, mais offrent parfois une teinte jaune, rouge, bleue, même violette et pourpre; cette couleur dépend de la quantité d'électricité qui traverse l'air, de la densité de celui-ci, de son humidité et des substances qu'il tient en suspension. Les éclairs violets annoncent en général une grande hauteur pour les nuages orageux d'où ils descendent, à travers un air raréfié qui rappelle celui des tubes de Geissler.

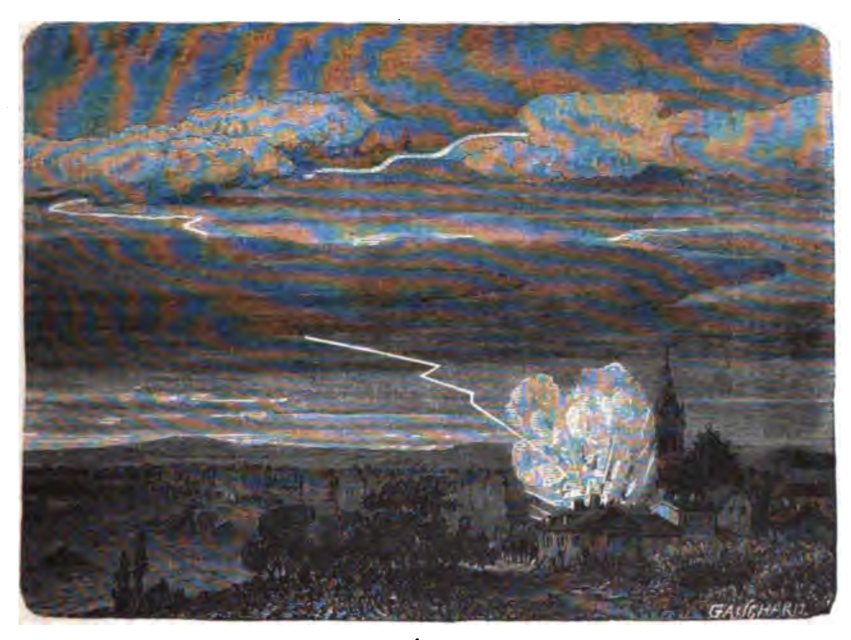


Fig. 211. — Éclair en zigzag.

On se fait rarement une idée de la longueur des éclairs. Tandis que nous avons tant de peine dans nos cabinets de physique à produire une étincelle électrique de quelques centimètres, la nature en fait éclater qui ne mesurent pas moins de 1 kilomètre, 5, 10, 15 kilomètres de longueur. F. Petit a mesuré à Toulouse des éclairs de 17 kilomètres; d'un très-grand nombre de déterminations prises, c'est la plus forte que je connaisse. Arago a trouvé pour une série d'éclairs étudiés par lui une longueur de 3 à 4 lieues.

Quelle est la hauteur des nuages orageux? D'après toutes les observations faites, il est évident qu'il y a des orages à toutes les hauteurs. De l'Isle en a mesuré un le 6 juin 1712 qui planait à 8000 mètres au-dessus de Paris; Chappe, le 13 juillet 1761, en a relevé un à 3470 mètres au-dessus de Tobolsk; Kaemtz, le 15 juin 1834, en a constaté un à 3100 mètres au-dessus de Halle. Ces observations ont donné une série décroissante de hauteurs, qui arrive presque jusqu'au sol. Haidinger a mesuré l'élévation de nuages orageux qui n'étaient qu'à 70 mètres au-dessus de Gratz, le 15 juin 1826, et même un jour à 28 mètres seulement au-dessus d'Admont, le 26 avril 1827. Voilà pour les pays de plaine. Quant aux pays de montagnes, Saussure en a observé au-dessus du Mont-Blanc, Bouguer et la Condamine sur le Pichincha, à 4868 mètres, Ramond sur le mont Perdu, à 3410 mètres, et sur le pic du Midi, à 2935 mètres, enfin également à toutes les hauteurs. Sur l'océan, on les a trouvés généralement situés entre 900 et 1400 mètres.

Que l'éclair se produise horizontalement entre deux groupes de nuages, ou obliquement soit entre des nuages de différentes couches, soit entre les nuages et la terre, il mesure ordinairement une longueur de plusieurs kilomètres. C'est cette longueur qui est la première cause du roulement du *tonnerre*.

Le tonnerre n'est autre chose en effet que le bruit de l'étincelle électrique opérant un échange d'électricité, une neutralisation, entre deux points plus ou moins éloignés.

Le bruit du tonnerre peut être dû à plusieurs causes différentes. L'étincelle elle-même, en traversant instantanément l'air atmosphérique, refoule les molécules sur son passage et produit un vide momentané dans lequel se précipite aussitôt l'air environnant, et ainsi de suite jusqu'à une certaine distance. Pouillet a combattu cette explication assez naturelle en objectant que si telle était la cause du tonnerre, le passage d'un boulet de canon devait produire un bruit anologue. L'objection n'est pas juste, car le boulet de canon n'est qu'une tortue à côté de la flèche de la foudre. En second lieu, le bruit du tonnerre peut être dû à ce que les nuages se dilatent sous l'influence de la tension électrique qui les gonfle en quelque sorte, les allonge, et les tend avec assez de force en certains points pour que, si une étincelle vient à décharger le nuage, l'air extérieur, n'étant plus retenu par la force expansive du fluide électrique qui lui faisait équilibre, se précipite de toutes parts vers les nuages. On peut voir là la cause du bruit du tonnerre et de l'averse qui le suit. Les

états électriques des divers nuages qui composent un orage étant solidaires les uns des autres, la décharge de l'un doit amener celle de plusieurs autres plus ou moins éloignés. Dans un cas comme dans l'autre toutefois, le bruit est toujours causé par l'expansion de l'air là où le vide plus ou moins partiel vient d'être fait, comme il arrive pour les armes à feu, pour le crève-vessie, etc. Lorqu'on se trouve au point où la foudre aboutit, — où le tonnerre tombe, selon l'expression commune, — ce bruit n'est jamais bien long, et ressemble à s'y méprendre à celui d'un coup de canon, de fusil, de pistolet, suivant l'intensité. Mais l'un des caractères particuliers du tonnerre est constitué par le *roulement*, comme son nom l'imite dans toutes les langues : *tonnerre, tonitruum, brontê, thunder, donner.*

On se demande souvent à quoi est dû le roulement souvent fort long. Plusieurs causes sont ici en présence. La première est due à la longueur de l'éclair et à la différence de vitesse du son et de la

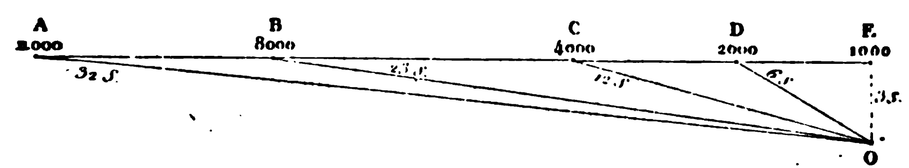


Fig. 212. — Durée du bruit du tonnerre.

lumière. Supposons, par exemple, un éclair horizontal AE, de 11000 mètres de long. (Chaque kilomètre est représenté ici par un centimètre.) L'observateur situé en O, au-dessous de l'extrémité E de l'éclair, qui se dessine à 1 kilomètre de hauteur, verra cet éclair dans toute sa longueur en un instant indivisible ; le son se formera aussi à l'instant même sur toute la ligne de l'éclair. Mais les ondes sonores n'arriveront à l'oreille de l'observateur qu'en des temps différents. Celle qui part du point E, le plus rapproché, arrivera en 3 secondes, le son parcourant environ 337 mètres par seconde. Celle qui s'est formée, au même moment indivisible, au point D, à 2000 mètres du point O, met le double de temps à arriver. Celle qui vient du point C, à 4000 mètres, n'arrive qu'après 12 secondes.... Le son formé en B n'arrive qu'après le temps nécessaire pour franchir 8 kilomètres, c'est-à-dire après 23 secondes.... Enfin le son parti de A n'arrivera qu'après 32 secondes : aussi le roulement aura duré plus d'une demi-minute, en allant en s'éteignant.

Si, ce qui est plus fréquent, l'observateur ne se trouve pas justement placé vers l'une des extrémités de l'éclair, mais en un point quelconque de son trajet, il entend d'abord le coup, puis une augmentation du bruit, puis une diminution. En effet, dans ce cas, le son parti d'un point D situé au-dessus de sa tête, et à 1000 mètres de hauteur, arrive seul en trois secondes; mais les

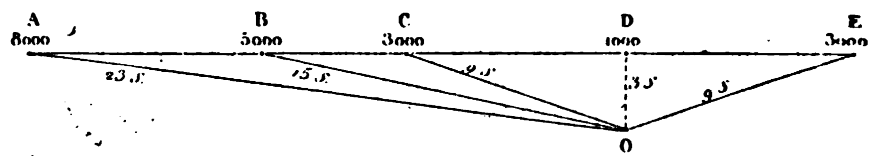


Fig. 213. — Commencement, renforcement et diminution de l'intensité du tonnerre.

sons formés de D en E d'une part, et de C en D d'autre part, arrivent en même temps en s'ajoutant l'un à l'autre, pendant neuf secondes, temps nécessaire pour venir de 1000 à 3000 mètres. A partir de C les sons arrivent en s'éteignant par la distance, comme dans l'exemple précédent, et le tonnerre a duré 23 secondes au lieu de 32.

A cette cause de roulements prolongés s'ajoute le nombre des décharges qui s'opèrent souvent très-vite entre les nuages orageux, — les zigzags et les ramifications des éclairs causés par la diversité hygrométrique des différentes couches d'air, — les échos répétés par les montagnes, le sol, les eaux et les nuages eux-mêmes, — à quoi il faut encore ajouter les interférences produites par la rencontre des divers systèmes d'ondes sonores.

La durée du roulement du tonnerre est très-variable, comme chacun a pu le remarquer. La plus longue durée constatée pour un seul éclair est celle de 45 secondes, à Paris, par de l'Isle, le 17 juin 1712. Le même jour, il compta 41 secondes pour une autre durée; le 8 juillet de la même année, il compta 39 secondes. On y remarque les intervalles compris entre le commencement du tonnerre et entre les différentes phases d'intensité du roulement, comme dans l'exemple suivant, qui est celui du 8 juillet :

à 0 secondes, éclair;
à 11 secondes, le tonnerre commence doucement;
à 12 secondes, il éclate;
à 32 secondes, les éclats cessent;
à 50 secondes, le bruit finit doucement.

L'intensité du tonnerre offre d'étonnantes variations. En certains

cas, les notices dont nous parlerons plus loin la comparent au bruit de *cent pièces de canon qui partiraient à la fois*. En d'autres cas, on n'entend qu'un coup de pistolet, puis un roulement plus ou moins sombre. Parfois les éclats rappellent le déchirement criard d'une pièce de soie, parfois la course d'un chariot chargé de barres de fer et dégringolant sur le pavé d'une rue en pente....

Le plus long intervalle qu'on ait constaté entre l'éclair et le tonnerre est celui de 72 secondes à Paris, et également par l'astronome de l'Isle, le 30 avril 1712. Ce nombre considérable donne 24 kilomètres ou 6 lieues pour la distance du nuage. Après ce résultat exceptionnel, le plus fort est 49 secondes, qui correspond à 4 lieues et demie. Par des constatations directes, on a reconnu qu'un orage ne s'entend *jamais* au delà de 6 lieues, et rarement au delà de 3 ou 4. Les éclairs se voient, mais ne portent pas si loin. Le fait est d'autant plus curieux qu'on entend *le tonnerre des hommes* bien au delà de ces distances. Le canon s'entend fort bien à 10 lieues. Lorsque ce sont de fortes pièces, on l'entend à une distance double. Les canonnades des siéges ou des grandes batailles se laissent percevoir jusqu'à 30 lieues et davantage. L'hiver dernier, les canons Krupp, auxquels l'empereur des Français avait décerné une récompense à l'Exposition de 1867 et dans lesquels les hommes d'État de cette planète saluent l'engin de civilisation le plus expéditif, ces belles pièces d'acier se faisaient entendre pendant les nuits du bombardement jusqu'à Dieppe, à 35 lieues de Paris. La canonnade du 30 mars 1814, qui couronna le premier empire comme celle-ci vient de couronner le second, fut entendue dans la commune de Casson, située entre Lisieux et Caen, à 44 lieues de Paris. Arago rapporte même qu'on entendit le canon de Waterloo jusqu'à Creil, qui en est distant de 50 lieues. Ainsi la foudre fabriquée par la main humaine se fait entendre beaucoup plus loin que la foudre de la nature. Il est vrai qu'elle est incomparablement plus méchante, et qu'elle fait infiniment plus de victimes.

Si le tonnerre ne peut pas s'entendre à plus de 6 lieues, il en résulte que si l'on entend un coup de tonnerre par un ciel pur, ce coup ne provient pas de nuages situés au delà de l'horizon visible, car on voit à plus de 6 lieues de distance. Un homme de taille ordinaire, de $1^{m},65$, peut voir, si l'horizon est bien clair, un objet placé à terre à la distance de 4000 mètres ou une lieue.

Si l'objet est élevé de 25 mètres, il sera aperçu à 5 lieues et demie;

Si la hauteur est de 500 mètres, comme une montagne isolée par exemple, on la découvrira à la distance de 21 lieues.

Si l'objet est à 1000 mètres d'élévation, comme le sont en moyenne les nuages cumulus de nos climats, nous le verrons jusqu'à 29 lieues.

Pour qu'un coup de tonnerre entendu par un ciel pur provînt d'un nuage, il faudrait donc supposer ce nuage à une trentaine de mètres de hauteur, — ce qui n'a jamais lieu. Ainsi l'électricité peut se dégager de certaines régions de l'air, de nuages invisibles, produire des éclairs et faire entendre du tonnerre par un temps serein. L'observation a constaté ce fait quelquefois. Il reste très-rare.

A cet ensemble de documents sur la manière d'être générale du tonnerre et des éclairs, nous pouvons ajouter que, malgré l'extrême rapidité, ou pour mieux dire l'instantanéité de l'éclair, on est parvenu cependant à en mesurer la durée et à constater qu'il ne dure pas même *un dix-millième de seconde!* Pour cela, on prend un cercle de carton partagé du centre à la circonférence en secteurs blancs et noirs. Ce cercle peut tourner comme une roue, avec une vitesse aussi grande qu'on le veut. On sait que les impressions lumineuses restent un dixième de seconde sur la rétine; ainsi, si l'on imite ce jeu d'enfant qui consiste à faire tourner un charbon allumé, si le tour est fait en un dixième de seconde, chaque position successive du charbon restant ce même temps imprimée sur la rétine, on voit un cercle continu. En faisant tourner notre cercle de rais blancs et noirs, nous ne distinguons plus les secteurs, et ne voyons qu'un cercle gris, si chaque rayon passe devant notre œil en moins d'un dixième de seconde. Or, on peut imprimer à l'appareil une rotation de cent tours par seconde et davantage. Cela posé, si notre cercle est éclairé d'une manière continue, nous n'en distinguerons pas les lignes, puisqu'elles se succèdent dans notre œil plus vite que l'impression produite par elles y reste. Mais si le cercle tourne devant nous dans l'obscurité, et qu'une lumière instantanée vienne à l'éclairer soudain, puis à disparaître aussi vite, l'impression produite dans notre œil par chacun des secteurs durera moins d'un dixième de seconde, sera presque instantanée, et le cercle nous apparaîtra *comme s'il était immobile.* En imprimant à l'appareil une rotation calculée, on a constaté que l'éclair ne dure pas un dix-millième de seconde !



Fig. 214. Mesure de la durée de l'éclair.

La lumière, franchissant 77000 lieues en une seconde, ne met qu'un instant absolument inappréciable pour venir du lieu où se produit un éclair, qui n'est jamais qu'à quelques lieues. Nous voyons donc l'éclair *au moment même* où il se produit. Mais le son ne se propage que lentement, à raison de 337 mètres par seconde, comme nous l'avons vu. Il en résulte que le bruit de la foudre, qui s'opère en même temps que l'éclair, ne sera entendu de nous que dix secondes après si nous sommes, par exemple, éloignés à 3370 mètres de l'orage, et chacun peut calculer ainsi facilement quelle distance le sépare de l'orage par le temps qui sépare l'éclair du tonnerre :

1/2	seconde	d'intervalle	correspond	à	168 mètres.
1	—	—	—		337 —
2	—	—	—		674 —
3	—	—	—		1000 —
4	—	—	—		1350 —
5	—	—	—		1680 —
6	—	—	—		2 kilomètres.
7	—	—	—		2,3 —
8	—	—	—		2,7 —
9	—	—	—		3 —
10	—	—	—		3,3 —
11	—	—	—		3,7 —
12	—	—	—		Une lieue.

Douze battements de pouls correspondent donc à une lieue.

L'éclair s'étendant sur une longueur de plusieurs kilomètres, le lieu frappé par la foudre peut être très-éloigné quoiqu'on entende le coup immédiatement après l'éclair, parce que c'est le son parti de l'extrémité la plus voisine de l'éclair qu'on entend d'abord. Ainsi, dans un orage, le 27 juin 1866, M. Hirn a entendu le coup succéder immédiatement à l'éclair, bien que ce même éclair eût foudroyé deux voyageurs sous un arbre à 5 kilomèt s de distance.

CHAPITRE III.

LES FAITS ET GESTES DU TONNERRE.

Nous entrons ici dans un monde merveilleux, plus féerique que celui des mille et une nuits, plus profond que l'antre de Cerbère, plus compliqué que le labyrinthe de Crète,... monde immense et fantastique, que nous ne pourrions décrire et dépeindre qu'en un volume aussi gros et aussi condensé que celui-ci. Jusqu'ici nous avons eu d'énormes difficultés pour ne choisir que les faits les plus capitaux de l'observation météorologique, et éliminer, bien malgré nous, une multitude de constatations et remarques curieuses qui auraient développé nos chapitres sur une étendue illimitée. Désormais les difficultés redoublent encore; car sur les *milliers* de faits merveilleux produits par la foudre, lesquels devons-nous recevoir avec hospitalité ? lesquels devons-nous renvoyer impitoyablement ? quelle classification, quelle méthode employer pour faire la part de toutes ces diversités, et prendre, sans trop de longueur, une idée exacte et suffisante des tours de force inimaginables que le subtil fluide électrique est capable d'effectuer en se jouant, et avec la rapidité de l'éclair?...

Nulle pièce de théâtre, comédie ou drame, nulle scène de prestidigitation, n'est capable de rivaliser avec les jeux inconcevables du tonnerre. Il semble que la foudre soit un être subtil, qui tienne le milieu entre la force inconsciente qui vit dans les plantes et la force consciente qui vit dans les animaux : c'est comme un esprit élémentaire, fin, bizarre, malin ou stupide, clairvoyant ou aveugle, volontaire ou indifférent, passant d'un extrême à l'autre, et d'un caractère unique et effrayant, insondable et muet. Il n'y a pas

d'explication à avoir avec lui. Être mystérieux, il ne se livre point. Il *agit;* voilà tout. Sans doute, ses actions, comme les nôtres, tout en paraissant personnelles et capricieuses, sont soumises à des lois supérieures invisibles. Mais jusqu'à présent il n'est pas encore possible de les rattacher à une cause directrice. Ici, il tue net et broie un homme, sans que ses vêtements respectés aient reçu le plus léger dérangement, la moindre trace de brûlure. Là, il déshabille entièrement une personne enveloppée soudain de l'éblouissant éclair, et la laisse absolument nue, sans qu'elle ait le moindre mal, la plus insignifiante égratignure. Plus loin, il vole les pièces de monnaie sans toucher au porte-monnaie ni à la poche du possesseur; ailleurs, il enlève la dorure d'un lustre pour la porter sur les plâtres qui ornementent un salon; ici, il déchausse un voyageur et envoie ses bottes à dix mètres de distance, tandis qu'au village voisin il percera une pile d'assiettes par le centre et alternativement de deux en deux seulement.... Quel ordre établir dans toute cette variété?

Pour former un tableau aussi complet que possible de toutes ces curiosités de la foudre, nous choisirons un nombre déterminé des faits les plus importants, et nous les classerons par analogie en les partageant suivant leurs formes et leurs caractères distinctifs, et en réunissant ceux qui offrent entre eux de grands points de ressemblance.

La galerie de tableaux électriques que nous ouvrons ici doit avoir pour mérite unique l'exactitude. Nous serons donc sobres de commentaires, et laisserons les faits se présenter eux-mêmes tels qu'ils ont eu lieu. Le lecteur aura lui-même amples sujets de réflexion après la lecture de chacune de ces relations. On me pardonnera, j'espère, de les faire imprimer en plus petits caractères, car, malgré mon extrême désir d'abréger, les faits sont si nombreux et si variés que, pour être complet, j'ai dû en choisir un nombre considérable. Le lecteur n'y perdra rien. Le sujet lui demande seulement ici un surcroît d'attention.

L'un des actes les plus formidables de la foudre est certainement celui de tuer raide un individu en le laissant dans sa position comme s'il était vivant, et en le brûlant en même temps d'une manière si absolue qu'il est entièrement consumé. C'est ce que l'on constate, par exemple, dans le cas suivant:

A Vic-sur-Aisne (Aisne), en 1838, au milieu d'un violent orage, trois soldats s'étaient mis à l'abri sous un tilleul. La foudre éclate, et les frappe de mort instantanée tous les trois et du même coup. Cependant tous trois ***restent debout***, dans leur situation primitive, comme s'ils n'avaient pas été atteints par le fluide électrique : leurs vêtements sont intacts! Après l'orage, des passants les remarquent,

leur parlent sans obtenir de réponse, s'approchent, les touchent, et *ils tombent en un monceau de cendres*, pulvérisés (A. Poey).

Ce fait n'est pas unique, il y en a un nombre respectable d'analogues, et déjà les anciens avaient remarqué que des foudroyés tombaient en poussière. Il n'en est pas moins extraordinaire. Voici maintenant un autre mode d'action tout opposé :

Le 29 juin 1869, à Pradette (Ariége), le maire a la malheureuse idée de s'abriter sous un peuplier très-élevé. La foudre éclate quelques moments après, fend l'arbre et foudroie l'individu. Par une de ses fantaisies bizarres et inexplicables, elle le déshabille entièrement et jette autour de lui ses divers vêtements réduits en lambeaux, à l'exception d'un soulier seulement * [1].

Le 11 mai 1869, un cultivateur des Ardillats, nommé Ballandras, était, dit le *Journal de Villefranche*, à labourer avec ses deux bœufs, à peu de distance de son habitation, vers 4 heures du soir ; le temps était lourd et le ciel couvert de nuages noirs. Tout à coup la foudre gronde et, fendant la nue, vient frapper le laboureur et ses bœufs, qui furent foudroyés. Ce malheureux a été complétement deshabillé par la foudre, et ses sabots avaient été lancés à 30 mètres de lui *.

Le 1er octobre 1868, sept personnes s'étaient mises à l'abri pendant un orage sous un énorme hêtre, près du village de Bonello, dans la commune de Perret (Côtes-du-Nord), lorsque tout à coup la foudre vint à éclater sur cet arbre et tua du coup Marianne Guillemot, femme Le Roy. Les six autres personnes ont été terrassées sans être grièvement blessées, à l'exception de la femme Le Gourd, dont la jambe et le bras gauches, ainsi que le dos, ont été brûlés. Les vêtements de la foudroyée ont été mis par le fluide en lambeaux très-petits; plusieurs de ceux-ci ont même été retrouvés accrochés aux branches de l'arbre *.

Le 11 août 1855, un homme fut foudroyé sur un chemin près de Vallerois (Haute-Saône) et complétement dépouillé de ses vêtements. On n'a même pu retrouver que quelques morceaux de brodequins ferrés, une manche de chemise, et quelques lambeaux de vêtements. Dix minutes après la décharge, il reprit connaissance, ouvrit les yeux, se plaignit du froid, et demandait comment il se trouvait là tout nu. Malgré ses blessures, il ne mourut pas *.

L'un des exemples les plus curieux de ce genre est celui-ci, rapporté par Morand :

Les habits et les chaussures d'une femme qui, au moment du foudroiement était déguisée en homme, furent coupés et déchirés en bandes, et jetés à 5 ou 6 pieds autour de son corps, en sorte que, dans l'état de nudité où elle se trouvait, on fut obligé de l'envelopper dans un drap pour l'emporter au village voisin.

Dans certains exemples, les vêtements, même les plus rapprochés du corps, sont brûlés, déchirés, troués, brisés, sans que la surface de la peau soit lésée. Dans d'autres exemples, la peau est brûlée sans que les vêtements aient du mal.

Un homme eut presque tout le côté droit brûlé, depuis le bras jusqu'au pied, comme s'il eût été exposé depuis longtemps sur un brasier ardent, sans que sa chemise, son caleçon et le reste de ses habits fussent aucunement endommagés par le feu (Sestier).

Th. Neale cite un cas où les mains auraient été brûlées jusqu'aux os dans les gants restés intacts.

Un homme eut ses habits déchirés en *atomes* sans présenter à la surface du corps aucune trace de l'action du fluide électrique, à l'exception d'une légère marque sur le front (Howard).

Ordinairement les vêtements sont consumés sans flamme ; parfois c'est un véri-

1. Les exemples marqués d'un * sont extraits d'une collection de curiosités de la foudre que je recueille depuis quinze ans dans les journaux scientifiques et autres. On peut les vérifier tous en revoyant les journaux du temps.

table feu allumé par la foudre qui les dévore. Le 10 mai 1865, vers 5 heures du soir, un cantonnier nommé Louis Roussel, fut tué par la foudre sur la route de Bapaume à Albert (Somme). Quand on trouva ce malheureux, il était dépouillé de ses vêtements, qui brûlaient encore *.

Parfois les vêtements intérieurs sont brûlés, tandis que les vêtements extérieurs sont respectés. Il y en a plusieurs exemples.

D'autres fois, ce qui est encore plus singulier, la doublure seule des vêtements est brûlée, et l'étoffe extérieure est épargnée !

Les vêtements, les souliers sont parfois *décousus* comme si on l'avait fait à la main.

On a remarqué que certains foudroyés n'offrent pas la plus légère lésion. C'est ce que les anciens avaient déjà observé, comme on le voit dans ce charmant passage de Plutarque : « La foudre les a frappés de mort sans laisser sur eux aucune marque ni de coups, ni de blessure, ni de brûlure ; *leur âme s'en est enfuie de peur* hors de leur corps, comme l'oiseau qui s'envole de sa cage. »

Dans plusieurs cas, les personnes foudroyées, mortellement ou sans blessures graves, ont été entièrement épilées : cheveux, barbe, poils, ont disparu, soit par le coup lui-même, soit quelques jours après.

Le docteur Gaultier de Claubry, atteint un jour par la foudre globulaire, près de Blois, eut la barbe rasée et anéantie, car elle ne repoussa jamais. Une singulière maladie le mit à deux doigts de la mort : sa tête enfla au point d'atteindre un mètre et demi de circonférence !

Un homme qui était, paraît-il, fort velu, ayant été atteint par la foudre, près d'Aix, la foudre lui enleva les poils du corps par sillons, de la poitrine aux pieds, les roula en pelotes et les incrusta profondément dans le mollet (Sestier).

Au milieu d'une telle variété d'action, il est fort difficile d'assigner des règles à la marche de la foudre. Cependant, quoique le fait soit instantané, on peut assez souvent suivre son parcours sur les jalons métalliques qu'elle a choisis de préférence, en examinant les péripéties d'un cas comme le suivant par exemple, qui est un de ceux qui ont eu le plus de retentissement parmi les orages de 1869 : le foudroiement du capitaine Lacroix, le 7 mai, sous sa tente, au camp de Châlons.

La pluie tombait à torrents au moment où le coup de foudre a éclaté, à 7 h. 53 m. du soir. On ne s'est aperçu de l'accident que le lendemain matin. Le cadavre était couché, la figure tournée vers le ciel, la main droite crispée tenant un bougeoir métallique serré contre la poitrine. Le terrain portait, à l'emplacement des pieds, des traces circulaires indiquant clairement que le capitaine, debout et tourné vers la porte, est tombé à la renverse en pirouettant. Il était en pantalon d'uniforme, vêtu d'un paletot bourgeois ; il avait sur la tête son képi à trois galons. La tente était fermée et la porte en toile en était bouclée au dedans et au dehors.

D'après les traces observées, le chemin parcouru par l'électricité est le suivant : boulon en fer du faîte de la tente, toile mouillée où l'on suit le sillon, boucle extérieure, tête du capitaine et képi, montre, corps, porte-monnaie et lit de fer.

La boucle de la tente a été projetée à 30 pas : sur le front du foudroyé on remarquait une plaie offrant la forme de cette boucle ; le képi fut complétement brûlé, galons effilochés ; le fil de fer eut sa soudure fondue.

La montre a été arrêtée par le coup, à 7 h. 53 m. ; elle présenta sur le boîtier une trace de fusion de 1 millimètre et demi de diamètre.

Le lit en fer offrit, à peu près à la hauteur du porte-monnaie, qui n'avait gardé aucune trace, 7 ou 8 petites traces de fumée.

La toile de la tente présenta une quinzaine de petits trous analogues à des piqûres de grosses épingles.

L'autopsie du cadavre a donné, 30 heures après l'événement : rigidité cadavérique encore complète, la chaleur du corps s'était conservée à 21°, 5 pendant 24 heures ; face livide, mais sereine et calme ; brûlure sur le côté droit de la tête, cou, épaule,

bras, parcheminant la peau; poumons gorgés de sang noir qui ruisselle abondamment à la coupe; cas de mort instantanée.

D'autres militaires ont été commotionnés par le même coup de foudre, mais sans offrir rien d'intéressant *.

Le camp de Châlons a été de nouveau visité par la foudre le 9 juillet 1870. Le tonnerre a éclaté au milieu d'un orage épouvantable et d'un véritable déluge, est tombé sur une tente du 32e de ligne, a tué raide un soldat et en a blessé quatre! *

Les fils télégraphiques conduisent également bien l'électricité pendant les orages. On a vu de petits oiseaux qui s'y étaient posés y rester suspendus, morts subitement et accrochés par leurs petites pattes serrées. On a vu les fils télégraphiques brisés en morceaux sur une grande étendue et disséminés à la surface des routes, les appareils des stations troublés et rendus incapables de transmettre les dépêches. Les treillis en fer, les fils d'espalier sont aussi d'excellents conducteurs, qui se surchargent facilement, et près desquels il est dangereux de se placer.

Au mois de juin 1869, un trappiste fut foudroyé au monastère de Scourmont, territoire de Forges, près Chimay (Belgique).

C'était dans l'après-midi, les religieux étaient occupés au fanage; survient un orage qui les oblige à chercher un abri. L'un d'eux, le frère Aloysius, qui dirigeait la faucheuse mécanique mue par deux chevaux, conduisit l'attelage près d'une clôture en fils de fer et s'agenouilla contre ce treillis. Un horrible coup de tonnerre éclate soudain, les chevaux s'enfuient épouvantés; le trappiste reste la face étendue contre terre. Les autres, qui l'ont vu tomber, accourent et le trouvent raide mort. Le médecin du monastère, mandé aussitôt, constata sur le corps de la victime deux brûlures larges et profondes, de forme identique et disposées symétriquement de chaque côté de la poitrine : il fit remarquer en outre aux personnes présentes une tache blanche sous l'aisselle droite formant l'image bien distincte d'un tronc d'arbre garni de ses rameaux, effet bizarre du fluide électrique*.

Les courants d'air, les vibrations, les métaux préparant à la foudre un chemin qu'elle préfère, il est évident en théorie et démontré en pratique que sonner les cloches pendant les orages est une fort mauvaise habitude. Loin d'éloigner le tonnerre et de le renvoyer sur les pays voisins, comme on se l'imagine parfois, les cloches l'invitent pour ainsi dire à descendre de suite. Il se passe peu d'années sans qu'un sonneur soit foudroyé sous l'un des clochers des 37 548 communes de France.

Le 11 septembre 1868, pendant l'orage qui éclata sur la ville de Puy-l'Évêque, le sieur Delpon, marchand épicier, étant dans l'église au moment où l'orage éclatait, crut devoir, sans ordre ni permission, et en l'absence du carillonneur, aller sacrifiant ainsi à la routine, sonner les cloches afin de conjurer les effets de l'orage. A peine touchait-il à la corde, qui est en fil de fer et par suite éminemment conductrice du fluide électrique, qu'une grande explosion se faisait. Bientôt, le premier mouvement d'émotion calmé parmi les assistants, on apercevait, renversé et ne donnant que de faibles signes de vie, le sieur Delpon. Relevé aussitôt, il reçut les soins que réclamait son état, mais expira trois quarts d'heure après*.

Le 28 juillet de la même année, pendant un orage, le sonneur du village de Communay, dit l'*Impartial dauphinois*, sonnait vigoureusement pour conjurer le mauvais temps, quand il fut renversé, presque asphyxié, par le fluide électrique, qui avait frappé avec un bruit épouvantable le clocher de l'église. Pénétrant ensuite dans l'intérieur, le tonnerre a ravagé l'autel, brûlé les ornements, et s'est perdu ensuite dans le mur*.

Un savant allemand trouvait, en 1783, que dans l'espace de trente-trois ans la foudre était tombée sur trois cent quatre-vingt-six clochers, y avait tué cent vingt et un sonneurs et blessé davantage encore. Il y a certainement plus d'imprudence à se mettre en communication avec la corde d'un clocher, surtout si l'on sonne, qu'à s'abriter contre les arbres élevés qui attirent le tonnerre.

Pendant la seule nuit du 14 au 15 avril 1718, la foudre tomba sur vingt-quatre clochers dans l'espace compris le long de la côte de Bretagne, entre Landernau et Saint-Pol-de-Léon. Ces graves désastres ne firent aucun tort à la réputation des cloches dans l'esprit des Bas-Bretons. C'était, dirent-ils, un Vendredi saint, jour où les cloches doivent rester muettes, et les sonneurs furent punis de leur désobéissance.

En 1747, l'Académie des sciences regardait déjà cet usage comme dangereux. Un arrêt du Parlement en date du 21 mai 1784 homologua une ordonnance du bailliage de Langres, qui défendait expressément de sonner les cloches quand il tonnait. Cependant on les sonne encore aujourd'hui dans ce même diocèse de Langres, si éclairé à d'autres titres.

Les coups de foudre les plus funestes par le nombre de personnes qu'ils ont frappées sont les suivants :

Un jour de solennité, la foudre pénétra dans une église près de Carpentras; *cinquante* personnes furent tuées, ou blessées, ou rendues stupides (Fort. Lintilius).

Le 2 juillet 1717, la foudre frappa une église à Seidenberg, près de Zittau, pendant le service : *quarante-huit* personnes furent tuées ou blessées (Reimarus).

Le 26 juin 1783, la foudre tomba sur l'église de Villars-le-Terroy, dont on sonnait les cloches, tua *onze* personnes et en blessa *treize* (Verdeil).

A bord du slopp *le Sapho*, en février 1820, *six hommes* furent tués d'un coup de foudre et *quatorze* gravement blessées (Sestier).

Le 11 juillet 1819, vers onze heures du matin, la foudre pénétra dans l'église de Châteauneuf-les-Moutiers (Basses-Alpes), au moment où on sonnait les cloches, et pendant qu'une nombreuse assemblée y était réunie. *Neuf* personnes furent *tuées sur le coup*, et *quatre-vingt-deux* autres furent blessées. Tous les chiens qui étaient dans l'église furent trouvés morts dans l'attitude qu'ils avaient au moment du coup (Pouillet).

A bord du navire *le Répulse*, vers les côtes de Catalogne, le 13 avril 1813, la foudre *tua huit hommes* dans les agrès et en blessa gravement *neuf*, dont plusieurs succombèrent (Sestier).

Dans les exemples cités par Arago, je vois *huit* hommes tués par le tonnerre à Sauve (Gard), le 22 octobre 1844.

Le 27 juillet 1769, vers trois heures de l'après-midi, la foudre, sous la forme d'un boulet de canon du plus gros calibre, tomba dans la salle de spectacle de Feltri (Marche Trévisane), où plus de six cents personnes étaient réunies, blessa *soixante-dix* personnes, en tua raide *six*, et éteignit toutes les lumières.

Le 11 juillet 1857, 300 personnes étaient réunies dans l'église de Grosshad, petit village à deux lieues de Düren, quand la foudre vint la frapper. *Cent* personnes furent blessées, dont *trente* grièvement. *Six* furent tuées, et c'étaient six hommes vigoureux (Follin).

Dans les premiers jours de juillet 1865, la foudre est tombée sur le territoire de Coray (Finistère), dans une garenne où seize personnes étaient occupées à l'écobuage. *Six hommes et un enfant* ont été tués du même coup et trois autres grièvement blessés. Plusieurs ont été complétement mis à nu; leurs vêtements étaient dispersés en lambeaux sur le sol; leurs chaussures étaient hachées et brisées en tous sens. Chose extraordinaire, on dit que quelques-uns des travailleurs ont été atteints à cent mètres de distance les uns des autres*.

Voici un autre fait bien singulier et bien complexe, rapporté par l'*Écho de Fourvières :*

Le dernier dimanche de juin 1857, à deux heures, pendant les vêpres, la foudre est tombée sur l'église de Dancé, canton de Saint-Germain-Laval.

Au bruit de l'explosion a succédé un silence de mort; puis un cri s'est fait entendre; cent autres ont été poussés aussitôt.

Le curé, qui croyait avoir reçu à lui seul toute la décharge électrique, ne sentant

pourtant aucune douleur, quitta sa place, où l'enveloppait un nuage de poussière et de fumée, et, de la table de la communion, il parla à ses paroissiens pour les rassurer : « Ce n'est rien, leur dit-il, gardez vos places, il n'y a point de mal. »

Il se trompait. Vingt-cinq ou trente personnes étaient plus ou moins atteintes; quatre ont été emportées sans connaissance; mais le plus maltraité de tous était le trésorier de la fabrique. En le relevant, on a vu ses yeux ouverts, mais ternes et voilés; il ne donnait plus aucun signe de vie. Ses vêtements étaient brûlés. Ses souliers, lacérés, pleins de sang, lui avaient été enlevés des pieds.

L'ostensoir exposé dans la niche avait été jeté à terre. Il était bossué, percé au pied, et l'*hostie avait disparu*. Le prêtre la chercha longtemps et finit par la trouver sur l'autel, au milieu du corporal, sous une couche épaisse de gravois.

Il ne restait plus qu'un chandelier sur les gradins. Les autres avaient été renversés, ainsi que les vases de fleurs. Deux bouquets avaient été brûlés. Trois ou quatre mètres de la boiserie du chœur avaient volé en éclats. Dans tous les coins de l'église on en a ramassé des fragments par centaines. Au dehors, la flèche du clocher a été dénudée, ses ardoises se ramassaient dans les champs voisins. Le clocher fut lézardé en plusieurs endroits, et un des angles coupé *.

Le 27 août 1867, un orage terrible s'abattait sur les environs de Limours (Seine-et-Oise).

Pendant plusieurs heures le tonnerre a grondé sourdement, puis tout à coup plusieurs détonations formidables se sont fait entendre, et la foudre est tombée en plusieurs endroits presque simultanément. Il était alors dix heures et demie environ. Une famille habitant Cerny-la-Ville, et composée de quatre personnes, le père, la mère, une fille et un garçon de vingt-deux ans, étaient occupés à la moisson quand la nue électrique les a enveloppés. Effrayés, ils cherchaient à se blottir sous des gerbes quand la foudre éclate, passe au-dessus du père, qui tombe insensible, mais revient à lui au bout d'un quart d'heure. Il n'en a pas été malheureusement ainsi du fils, Louis Troufleau, qui est tombé pour ne plus se relever. La mère et la fille n'ont pas été atteintes.

La catastrophe a été marquée par ces bizarreries qui souvent accompagnent le météore électrique. En effet, le rapport fait par le médecin apprend que le corps du malheureux jeune homme avait été presque entièrement déshabillé par la foudre. On a retrouvé à de grandes distances des morceaux de ses vêtements et particulièrement de ses bottes. Le fluide électrique a dû pénétrer par les épaules, près du cou. On remarquait sur ces parties du cadavre une douzaine de petites taches noires ayant l'apparence de celles que fait le nitrate d'argent ou pierre infernale. Après avoir suivi la colonne vertébrale, le terrible agent de destruction est sorti par les pieds, qui présentaient deux petites plaies faites comme à l'emporte-pièce. La foudre est ensuite entrée en terre, ce réservoir commun de l'électricité, en remuant tellement le sol que des moissonneurs qui se réfugiaient alors à la ferme ont, disent-ils, « sauté en l'air à plusieurs pieds de haut *. »

Chez un individu cité par M. de Quatrefages, les chaussettes furent déchirées en mille pièces; un soulier fut enlevé et porté à l'autre bout de la chambre, et deux clous furent trouvés enfoncés dans le plancher, tandis qu'un autre, suivant une direction opposée, avait pénétré profondément dans le talon du foudroyé.

Les objets que l'on porte à la main sont parfois enlevés et lancés au loin.

Un gobelet que tenait un buveur fut enlevé de ses mains et porté dans une cour sans être cassé et sans que le buveur fût blessé. — Un jeune homme de 18 ans chantait l'épître; le missel lui fut arraché des mains et mis en pièces. — Une cravache fut enlevée des mains d'un cavalier et projetée au loin. — Deux dames tricotaient tranquillement : la foudre passe et leur vole subtilement leurs aiguilles (Sestier).

En d'autres cas, on voit la foudre fendre un homme en deux, comme d'un grand coup de hache.

Le 20 janvier 1868, dit le *Journal de Rennes*, le tonnerre est tombé à Groix, sur le moulin à vent de Kerlard, qui appartient à M. Jégo, adjoint. Le garçon meunier a été atteint mortellement. Il était des pieds à la tête comme séparé en deux*.

Les journaux anglais des 24 et 25 mai 1868 rapportent que l'orage qui a fondu sur Paris, dans l'après-midi du 22, était passé sur Epsom dans la matinée. Là, deux spectateurs étaient en voiture découverte. Un coup de tonnerre fendit en deux la tête de l'un, et asphyxia son compagnon, qui reprit bientôt ses sens*.

Avec une énergie bizarre, assez souvent les chaussures sont arrachées de force par la foudre sans que le foudroyé soit mortellement frappé pour cela.

Le 8 juin 1868, un employé de la Compagnie du gaz passait rue Thouin à 10 heures du soir, au moment de l'orage, lorsqu'il se sentit affaisser sur lui-même, en même temps qu'il aperçut un éclair éclatant. Il tomba sur ses genoux, éprouva une forte oppression dans l'estomac, et fut en proie à un tremblement général qui dura deux jours. Étant entré chez un débitant de liqueurs pour demander du vulnéraire, et en proie à une vive émotion, il examina son corps pour voir s'il n'avait pas reçu une blessure quelque part. Quelle fut sa surprise, quand il s'aperçut que la plus grande partie des clous de ses bottes avaient été enlevés! Les clous étaient à vis, et les bottes presque neuves. La force d'attraction a dû être considérable *.

Cette observation était communiquée à l'Académie par M. Becquerel lorsque le maréchal Vaillant fit la remarque qu'il y a quelques années une observation semblable a été faite dans le bois de Vincennes; mais l'homme a été foudroyé, et ses souliers, dont les clous avaient été enlevés, ont été lancés à quelque distance.

On lit dans le *Journal du Loiret*, du 29 mai 1867, qu'une femme a été foudroyée pendant l'orage, sans être tuée, en subissant d'étranges commotions. Son bonnet a été brûlé, et un côté de sa tête aussi bien rasé que si le rasoir lui-même y eût passé. Pénétrant ensuite sous les vêtements, le fluide a longé le corps tout entier, ne produisant que de légères excoriations et ne brûlant même pas la chemise. Les souliers ont été mis en lambeaux, et les pieds n'ont pas été touchés*.

Le 20 avril 1867, un cultivateur d'Orbagna, dit le *Courrier du Jura*, Jules Débauchez, âgé de 20 ans, revenait des champs, fuyant le violent orage qu'accompagnaient d'épouvantables éclats de tonnerre. Tout à coup la foudre éclate; elle lui enlève sa hotte, arrache et met ses vêtements en lambeaux, et brise en mille morceaux les sabots qu'il avait aux pieds. Muet de frayeur, tout transi de froid, blessé gravement et rendu sourd, le pauvre jeune homme est rentré chez lui n'ayant plus que sa chemise sur le corps*.

Mais de tous les effets de la foudre, l'un des plus extraordinaires est certainement de laisser l'homme ou l'animal *dans l'attitude même* où la mort subite l'a surpris. On en a plusieurs exemples.

Voici une jeune femme qui sans doute a été saisie par la foudre dans l'état où on l'a retrouvée après l'accident. C'était pendant un violent orage, le 16 juillet 1866. Mariée depuis 14 mois, à un ouvrier mineur de la Ricamarie, dit le *Mémorial de la Loire*, elle était allée voir sa famille à Saint-Romain-les-Atheux, emmenant son enfant âgé de quatre mois.

Elle était seule à la maison pendant l'orage. Quand ses parents sont revenus des champs, un triste spectacle les attendait : la jeune femme avait été tuée par la foudre. On l'a trouvée à genoux dans un coin de sa chambre et la tête cachée dans ses mains. Elle ne portait aucune trace de blessure. L'enfant, qui était couché dans la chambre, n'a été que légèrement atteint par le fluide*.

Voici un autre exemple plus frappant :

Dans le courant de juillet 1845, quatre habitants d'Heiltz-le-Maurupt, près de Vitry-le-François, se réfugièrent, trois d'entre eux sous un peuplier, et le quatrième sous un saule contre lequel sans doute, il s'appuya. Bientôt après ce malheureux fut frappé de la foudre ; une flamme claire jaillissait de ses vêtements, et

toujours debout sous le saule, il paraissait ne s'apercevoir de rien. « Tu brûles ! mais tu ne vois donc pas que tu brûles? » lui criaient ses camarades. N'obtenant pas de réponse, ils s'approchèrent de lui et restèrent muets de terreur en s'apercevant qu'il n'était plus qu'un cadavre (Sestier).

Autre observation :

Vers la fin du siècle dernier, dit l'abbé Richard, le procureur du séminaire de Troyes revenait à cheval lorsqu'il fut frappé par la foudre. Un frère qui le suivait ne s'en étant point aperçu, crut qu'il s'était endormi, parce qu'il le voyait vaciller. Ayant essayé de le réveiller, il le trouva mort.

Un des faits les plus curieux de ce genre est peut-être celui d'un prêtre qui fut tué par la foudre pendant qu'il était à cheval. L'animal continua sa route et ramena son maître à la maison, dans l'attitude d'un homme à cheval, après avoir fait deux lieues à partir de l'endroit où la foudre l'avait frappé (Boudin).

Le pasteur Butler a été *témoin* du fait suivant qu'il raconte : Le 27 juillet 1691, à Éverdon, dix moissonneurs se réfugièrent sous une haie à l'approche d'un orage. La foudre éclata et tua raide quatre d'entre eux, qui restèrent immobiles et comme pétrifiés. L'un fut trouvé tenant encore entre ses doigts une prise de tabac qu'il allait prendre. Un autre avait un petit chien mort sur ses genoux, une main sur la tête de l'animal; de l'autre main il tenait un morceau de pain, comme prêt à le lui donner; un troisième était assis, les yeux ouverts et la tête tournée du côté de l'orage. Lorsque nous voyons le même phénomène signalé par plusieurs auteurs de temps et de pays différents, remarque à ce propos le docteur Sestier, il nous est impossible, malgré ce qu'il présente d'extraordinaire, de le reléguer dans le domaine des fables.

Cardan rapporte que huit moissonneurs, prenant leur repas sous un chêne, furent frappés tous les huit par un même coup de foudre, qui se fit entendre au loin. Lorsque les passants s'approchèrent pour voir ce qui était arrivé, les moissonneurs, pétrifiés soudain par la mort, semblaient continuer leur paisible repas.

L'un tenait son verre, l'autre portait le pain à la bouche, un troisième avait la main dans le plat. La mort les avait tous saisis dans la position qu'ils occupaient lors de l'explosion du tonnerre. — C'est cette curieuse scène que M. Bayard a représentée dans son dessin.

La catastrophe est tellement rapide, que le visage n'a pas le temps de prendre une expression douloureuse. La vie est si vite supprimée, que les muscles restent avec la situation qu'ils avaient. Les yeux et la bouche sont ouverts comme à l'état de veille; si la couleur de la peau est respectée, l'illusion est complète : on croit que la vie habite encore le cadavre, on s'étonne qu'aucun mouvement ne se produise.

Plusieurs de ces moissonneurs eurent la peau noircie comme s'ils eussent été enfumés par l'action de l'électricité.

En général les foudroyés tombent instantanément et sans se débattre. Il est démontré, aujourd'hui par un grand nombre d'observations, que l'homme atteint de l'éclair de manière à perdre à l'instant même connaissance, tombe sans avoir *rien vu*, *rien entendu*, *rien senti;* de sorte que ceux qui reviennent à eux ne savent absolument rien de ce qui s'est passé, et qu'ils ne comprennent pas, par exemple, pourquoi ils se trouvent étendus sur le sol ou dans un lit. L'électricité va plus vite que la lumière et surtout que le son : l'œil et l'oreille sont paralysés avant que la lumière ou le son aient pu faire impression sur eux.

On a un très-grand nombre d'exemples d'individus laissés par la foudre dans la situation même où ils étaient. On a aussi des exemples diamétralement contraires.

Le 8 juillet 1839, la foudre atteignit un chêne près de Triel (Seine-et-Oise), et frappa deux ouvriers carriers, le père et le fils. Celui-ci fut tué raide, soulevé et transporté à 23 mètres de distance.

Le chirurgien Brillouet, surpris par un orage près de Chantilly, fut enlevé par

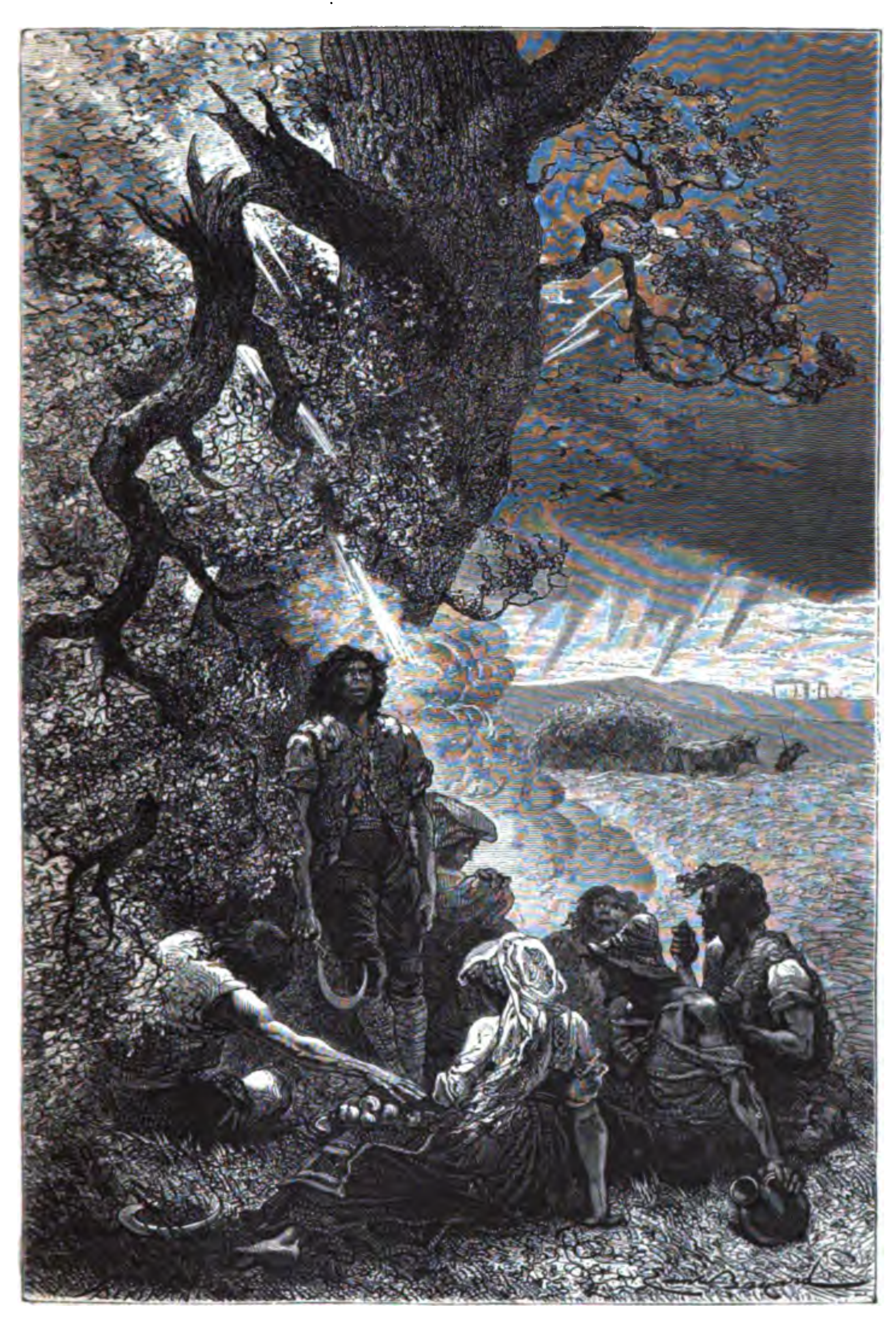


Fig. 215. — Moissonneurs tués raide par un coup de tonnerre.

la foudre et transporté comme une masse dans l'air pour être posé à 25 pas de l'endroit où il s'était mis.

Le 2 août 1862, la foudre tomba sur le paratonnerre du pavillon d'entrée de la caserne du Prince-Eugène, à Paris.... Les soldats étaient en train de se coucher. Tous ceux qui l'étaient déjà se trouvèrent debout, tandis que ceux qui étaient debout furent couchés par terre.

Parfois le corps des foudroyés reste flexible après la mort comme pendant la vie. Le 17 septembre 1780, un violent orage éclata sur East-Burn (Grande-Bretagne). Un cocher et un valet de pied y furent tués. « Quoique les corps restassent sans être ensevelis du dimanche au mardi, dit l'observateur, tous leurs membres étaient aussi flexibles que ceux des personnes vivantes. » (Sestier.)

Parfois le cadavre est raide comme du fer et garde sa raideur. Le 30 juin 1854, un charretier de 35 ans fut foudroyé à Paris. Le lendemain, le docteur Sestier vit son cadavre à la morgue : il était raide et se mouvait tout d'une pièce ; le surlendemain, 44 heures après la mort, cette raideur était encore des plus marquées. — Il y a quelques années, la foudre frappa, dans la commune d'Hectomare (Eure), un nommé Delabarre, qui tenait un morceau de pain à la main. La contractilité des nerfs a été si forte, qu'il n'a pas été possible de le lui arracher.

Parfois enfin, à l'opposé de tout cela, le cadavre des foudroyés s'amollit et se décompose rapidement au milieu d'une odeur insoutenable. Le 25 juin 1794, la foudre tua une dame dans une salle de bal à Dribourg. Le cadavre exhala rapidement une odeur de putréfaction singulière. Le médecin put à peine l'examiner sans danger de s'évanouir. Les habitants de la maison furent obligés de s'en aller 36 heures après la mort, tant l'odeur était pénétrante. C'est à peine si l'on put mettre le fétide cadavre dans le cercueil : il tombait par morceaux.

Tous ces faits sont étranges, bizarres, inexplicables. Mais quel nom donner aux suivants, aux images gravées par la foudre sur la chair des foudroyés, à la kéraunographie, comme on l'a appelée, à l'acte du *Tonnerre photographe?* Nous avons pourtant un grand nombre de cas authentiquement constatés d'impressions photo-électriques dues à un tatouage dessiné par les mains du tonnerre.

Nous avons déjà vu plus haut un fait qui se rattache à ces productions d'images : c'est celui d'une boucle de tente marquée sur le front du capitaine foudroyé au camp de Châlons, le 7 mai 1869, quoique cette boucle ait été extérieure à la tente et située, d'après le rapport, à 8 ou 10 centimètres au moins du front de la victime au moment de l'accident, et que de plus elle ait été lancée à l'opposé, jusqu'à 23 pas de la tente. C'est sans doute là un transport électrique de vapeurs ou de poudre d'acier instantanément effectué au moment du coup entre la boucle et le front du foudroyé.

Voici d'autres exemples plus complets :

Au mois d'août 1869, deux hommes et une femme ont été tués à Neuf-Brisach sous un peuplier, et ils sont encore aujourd'hui enterrés à l'endroit où ils furent frappés. L'un d'eux avait sur la joue une photographie très-facile à reconnaître de l'écorce de l'arbre *.

Le 29 mai 1868, un violent orage arriva sur Chambéry au moment où un détachement du 47e de ligne se livrait à l'exercice du tir, aux Charmettes. Tandis qu'une partie des soldats continuaient de tirer, quelques hommes se réfugièrent sous les arbres qui bordent la route. Ils y étaient à peine, que la foudre, tombant sur un châtaignier, renversa 6 de ces militaires. L'un d'eux, mortellement atteint, succomba au bout d'un quart d'heure, après avoir prononcé quelques mots. Deux heures après la mort, l'examen du cadavre a permis au médecin de l'hôpital de Chambéry qui l'examina, de constater la production d'images photo-électriques.

Sur le membre supérieur droit existaient trois bouquets de feuilles d'une coloration rouge-violet plus ou moins foncé, et reproduits dans leurs plus petits détails

avec la fidélité photographique la plus parfaite. Le premier, situé à la partie moyenne de la face antérieure de l'avant-bras, représentait une branche allongée munie de feuilles de châtaignier; le second, paraissant formé de deux ou trois rameaux réunis, apparaissait vers le milieu du bras ; le troisième se montrait au centre de l'épaule *.

Les journaux de mars 1867 ont reproduit le fait suivant, publié par les journaux anglais : Trois enfants avaient cherché asile sous un arbre. La foudre éclate, tombe sur l'arbre et décrit autour une série de cercles. Les enfants, un moment terrifiés, reprennent leurs sens, et l'un d'eux présente, sur l'un des côtés de son corps, l'image parfaite de l'arbre qui l'abritait. La photographie était si exacte, qu'on distinguait facilement les feuilles et les fibres des branches *.

Le 27 juin 1866, la foudre tomba sur un tilleul à Bergheim (Haut-Rhin). Deux voyageurs qui s'étaient mis à l'abri sous l'arbre, ont été renversés sans connaissance; l'un avait été soulevé à plus d'un mètre de hauteur, il est retombé sur le dos. On les croyait morts, mais par des soins immédiats ils sont revenus à eux, et se sont rétablis.... Les deux voyageurs portent sur le dos et jusqu'aux cuisses l'empreinte, comme photographiée, des feuilles du tilleul. Le dessinateur le plus habile n'aurait pu faire mieux. — La relation de ce coup de foudre a été donnée par M. Hirn, correspondant de l'Institut, et nous l'avons insérée au *Cosmos*, 1866, t. II, p. 226.

Ma collection sur le tonnerre m'offre un extrait français du *Wiener Nachrichten*, année 1865, où ce même fait se complique d'un hasard tout à fait singulier.

Un médecin des environs de Vienne (Autriche), M. le docteur Derendinger, revenait chez lui en chemin de fer. En descendant, il s'aperçut qu'il n'avait plus son porte monnaie, qu'on lui avait sans doute volé.

Ce porte-monnaie était en écaille, portant d'un côté, en incrustation d'acier, le chiffre du docteur, deux D croisés.

Quelque temps après, le docteur fut appelé auprès d'un étranger qu'on avait trouvé gisant inanimé sous un arbre et qui avait été frappé par la foudre. La première chose que le docteur remarqua sur le malade, ce fut son chiffre comme photographié sur la peau de la cuisse. Qu'on juge de son étonnement! Ses soins parvinrent à ranimer le malade, qu'il fit transporter à l'hospice. Là, le docteur annonça que dans les vêtements devait se trouver un porte-monnaie en écaille. Le fait fut vérifié. L'individu frappé par la foudre était le voleur.

Le fluide, en l'atteignant, avait été attiré par le métal du porte-monnaie, et, en fondant le chiffre incrusté, en avait, par un de ses effets bizarres si connus, laissé la trace sur le corps.

Le journal ajoute que le voleur, ainsi surpris en flagrant délit, allait être traduit en justice, quoiqu'il prétendît avoir trouvé le porte-monnaie.

Le 4 septembre 1864, trois hommes étaient occupés à cueillir des poires près du bourg de Nibelle (Loiret), lorsque la foudre tomba, contourna l'arbre en forme de vis et tua l'un des hommes. Les deux autres reprirent connaissance, et l'un d'eux portait sur sa poitrine, très-distinctement daguerréotypées, des branches et des feuilles de poirier (D[r] Labigue, *Moniteur universel* du 9).

Nous pourrions ajouter à ces photographies produites par le tonnerre les vingt-quatre autres cas réunis par notre confrère l'astronome A. Poey; nous pourrions rappeler avec Raspail qu'un enfant ayant été foudroyé pendant qu'il dénichait un nid sur un peuplier, garda sur sa poitrine le dessin du *nid* et de *l'oiseau*: citer l'exemple de Mme Morosa, de Lugano, qui, assise près d'une fenêtre pendant un orage, eut soudain, comme complément d'une commotion, une *fleur* parfaitement dessinée sur sa jambe, et qui ne s'effaça jamais; rapporter l'histoire de ce marin foudroyé dans la rade de Zante îles Ioniennes et qui reçut sur la poitrine la photographie du numéro 44 qui était attaché à l'un des agrès du bâtiment; mais nous nous bornerons à compléter ces effets étranges par celui-ci, qui impressionna singulièrement à la fin de l'avant-dernier siècle.

Le 18 juillet 1689, la foudre tomba sur le clocher de l'église Saint-Sauveur, à Lagny, et imprima sur la nappe de l'autel les paroles sacrées de la consécration, à commencer par : *Qui pridie quam pateretur....* jusqu'aux dernières : *Hæc quotiescumque feceritis, in mei memoriam facietis*, en omettant les paroles même de l'Eucharistie : HOC EST CORPUS MEUM, et HIC EST SANGUIS MEUS. Ce texte était imprimé de droite à gauche. Le canon de l'autel, qui le portait, était tombé sur la nappe, et avait été reproduit, à l'exception des paroles omises, qui étaient imprimées en rouge. La photographie nous aide aujourd'hui à comprendre cette reproduction partielle. Mais on conçoit qu'un tel prodige ait frappé, sous le siècle de Louis XIV, ceux qui l'ont observé.

A la photographie par la foudre, nous pouvons ajouter les faits de *galvanoplastie* par le même agent, et de transport de métaux en plus ou moins grande quantité.

Le 25 juillet 1868, pendant un grand et magnifique orage, à Nantes, M. P..., ancien comptable, se trouvait près du pont de l'Erdre, sur le quai Flesselles. Comme il accélérait sa marche, il fut enveloppé par un éclair très-vif et continua son chemin sans éprouver aucun malaise. Il avait sur lui un porte-monnaie contenant deux pièces d'argent dans un compartiment, et une pièce d'or de 10 francs dans un autre compartiment. Le lendemain, en ouvrant son porte-monnaie, il fut très-surpris en trouvant à la place de la pièce d'or une pièce blanche. D'abord M. P... crut qu'il s'était trompé la veille, et avait pu donner une pièce de 10 francs pour une pièce de 50 centimes. Mais en examinant les choses de plus près, il reconnut que l'indication de la valeur était intacte. Une couche d'argent enlevée à une pièce d'un franc recouvrait les deux faces de la pièce de 10 francs. La pièce d'argent, légèrement diminuée en de certaines parties, et particulièrement sur une moustache du chef de l'État, était en ces endroits légèrement bleuâtre. M. Bobierre, chimiste, directeur de l'École supérieure de Nantes, a examiné ce phénomène et reconnu qu'il était le résultat d'une action galvanoplastique.

Comme l'exprimait ce chimiste dans une note à l'Académie à ce propos, le fait le plus curieux est que ce transport de l'argent sur une surface d'or s'est effectué *à travers l'enveloppe de peau* du compartiment du porte-monnaie.

En d'autres cas, on voit la foudre arriver dans une maison, suivre les dorures des corniches, des cadres, les enlever nettement pour aller dorer des objets qui n'étaient nullement destinés à recevoir cette ornementation. Le 15 mars 1773, elle parcourt, à Naples, les appartements de lord Tylnez, qui avait réception ce soir-là. Plus de cinq cents personnes étaient présentes ; sans en blesser aucune, le tonnerre enleva nettement la dorure des corniches, des baguettes des tapisseries, des fauteuils qui y touchaient et des jambages des portes !...

Le 4 juin 1797, la foudre tomba sur le clocher de Philippshofen, en Bohême, enleva l'or du cadran pour aller dorer le plomb de la fenêtre de la chapelle.

En 1761, elle pénétra dans l'église du collége académique de Vienne, et prit l'or de la corniche d'une colonne de l'autel pour le déposer sur une burette d'argent.

Un homme fut gravement brûlé par la foudre en 1783, en Dauphiné ; les coulants d'or de sa bourse furent en partie fondus, et le métal transporté sur une des boucles de ses souliers, sous forme de perles parfaitement sphériques.

A côté de cette ingénieuse fusion de perles d'or, on peut comparer la suivante, qui est vraiment formidable.

Le 20 avril 1807, le tonnerre tomba sur le moulin à vent de Great-Marton, dans le Lancashire. Une grosse chaîne en fer qui servait à hisser le blé, dut être, sinon fondue, du moins considérablement ramollie. En effet, les anneaux étant tirés de haut en bas par le poids inférieur, se rejoignirent, se soudèrent, de manière qu'après le coup de foudre, la chaîne était devenue une véritable barre de fer (Arago).

Voici, par contraste, un procédé de fusion d'une délicatesse exquise, consigné par Boyle dans ses œuvres.

Deux grands verres à boire, tout pareils, étaient l'un à côté de l'autre sur une table. La foudre arrive et se dirige si exactement sur les verres qu'il semble qu'elle a passé entre eux. Aucun cependant n'est cassé; l'un est légèrement altéré; l'autre est si fortement ployé par un ramollissement instantané, qu'il pouvait à peine rester debout sur sa base.

Au mois de juillet 1783, à Campo Sampiero Castello (Padouan), la foudre frappa un bâtiment plein de foin qui avait des croisées garnies de vitres, et fondit les vitres sans mettre le feu au foin.

A côté de ces subtilités, nous avons des coups monstrueux, comme ceux-ci :

Au château de Clermont en Beauvaisis, il y avait un mur légendaire, formidable, de 10 pieds d'épaisseur, bâti du temps des Romains, selon la tradition, et dont le mortier, aussi dur que la pierre, permettait à peine la démolition. Un jour, dit Nollet, un coup de foudre l'atteignit et y creusa instantanément un trou de 2 pieds de profondeur, et d'autant de largeur, en en rejetant les matériaux à plus de 50 pieds de distance en avant.

Dans une étude que j'ai imprimée dans le *Cosmos*, le 28 juin 1865, je relate le fait d'un peuplier fendu en deux par la foudre le 14 mai précédent, à Montigny-sur-Loing. Une moitié est restée intacte dans toute sa hauteur. La moitié foudroyée a été hachée, déchiquetée en menus fragments lancés jusqu'à 100 mètres de distance. Ces fragments, qui m'ont été envoyés, sont tellement desséchés et filamenteux, qu'on les prendrait plutôt pour du chanvre que pour du bois.

Le 1er juillet 1866, je donnais dans la même revue la relation d'un *coup de foudre* analogue dont j'avais reçu également des échantillons. Le tonnerre étant tombé le 19 avril précédent sur un chêne de la forêt de Vibraye (Sarthe), avait coupé cet arbre de 1m,50 de circonférence, aux deux tiers de sa hauteur, broyé les deux tiers inférieurs, dont les filaments furent semés à 50 mètres à la ronde, et planté en quelque sorte le tiers supérieur juste à l'endroit où le tronc était primitivement. On voit facilement, sur les fragments de branches, que les couches concentriques annuelles ont été séparées par la dessiccation subite de la séve, si bien que les lanières ne sont restées soudées ensemble que là où les nœuds ont opposé un obstacle plus grand à la séparation.

Le 2 juillet 1871, à la ferme d'Etiefs, près Rouvres, canton d'Auberive (Haute-Marne), la foudre est tombée sur un vieux peuplier d'Italie âgé de soixante ans, de 30 mètres de hauteur et de 3 mètres de tour à 1 mètre du sol, et lui a arraché assez de bois pour en faire un tas de 65 centimètres de côté, et de 50 centimètres de hauteur.

Le 13 août 1871, un violent orage s'abattit sur les environs d'Angers. Vers 9 heures 10 minutes, écrit M. A. Cheux à l'Observatoire de Montsouris, un éclair éblouissant embrasa tout le ciel à l'O. S. O., et fut immédiatement suivi d'un violent coup de tonnerre, semblable à une décharge d'artillerie. La foudre venait de tomber à la Pointe (commune située à 2 lieues d'Angers, au S. O.), sur un peuplier blanc de Hollande, dont il brisa plusieurs branches, qui furent transportées à 150 mètres environ de l'endroit foudroyé. L'écorce de cet arbre fut enlevée depuis l'âme jusqu'au pied et éparpillée autour du peuplier. La commotion électrique fut si violente, que plusieurs personnes, qui se trouvaient dans une maison voisine de cet arbre devant une fenêtre ouverte, furent jetées violemment au fond de la chambre, leurs cheveux se hérissèrent, et elles furent en proie à une vive agitation qui dura plusieurs jours; l'une d'elles fut complétement guérie d'une douleur dans l'épaule, qui durait depuis plusieurs mois.

En mars 1818, à Plymouth, un sapin de plus de 100 pieds d'élévation et de 14 pieds de circonférence, objet d'admiration dans la contrée, disparut, littéralement brisé en pièces. Quelques fragments furent lancés à 250 pieds de là. Un chêne de 25 mètres de hauteur ayant été frappé, à Thury, le 25 août de la même année, on



Fig. 216. — Navire fendu en deux par un coup de tonnerre.

l'arracha pour l'examiner avec soin, et on constata que les couches concentriques du bois se détachaient les unes des autres, comme des tubes de lunette d'approche!

Mais quoi de plus effrayant que les exemples de la chute de la foudre sur certains navires?... En voici un qui a été littéralement fendu en deux.

Le 3 août 1852, le navire *Moïse*, dans son passage d'Ibraïl à Queenstown, fut surpris, en vue de Malte, par un violent orage. Vers minuit, la foudre tomba sur le grand mât, le suivit, et, descendant dans le corps du bâtiment, le fendit en deux; il coula immédiatement. Équipage et passagers périrent. Le capitaine Pearson était sur le pont. Il eut le temps de se jeter sur une pièce de bois flottante, sur laquelle il se soutint pendant dix-sept heures. Le navire sombra en trois minutes (*Nautic. Mag.*, XXIII, p. 290.) C'est ce formidable coup de foudre que M. Jules Noël a représenté dans son dessin.

Au commencement de ce siècle, le navire *Royal-Charlotte*, étant à Diamond-Harbour, dans la rivière Hoogley, sauta en mille pièces par l'explosion de son magasin à poudre foudroyé. La détonation fut entendue au loin, et l'ébranlement ressenti à plusieurs milles.

Le 18 août 1769, la foudre tomba sur la tour de Saint-Nazaire à Brescia. Cette tour reposait sur un magasin souterrain contenant un million de kilogrammes de poudre, appartenant à la République de Venise.... La tour, lancée tout entière dans les airs, retomba comme une pluie de pierres.... Une partie de la ville fut renversée.... Trois mille personnes périrent.

Telle est la puissance du tonnerre. Eh bien! avec cette puissance — et c'est par cela que nous terminerons — il s'amuse parfois bénévolement comme il suit :

Une jeune paysanne était dans un pré, non loin de Pavie, dit l'abbé Spallanzani, le 29 août 1791, pendant un orage, lorsque tout d'un coup apparaît, à ses pieds, un globe de feu de la grosseur des deux poings. Glissant sur le sol, ce petit tonnerre en boule arriva sur ses pieds nus, les caressa, s'insinua sous ses vêtements, sortit vers le milieu de son corsage, tout en gardant la forme globulaire, et s'élança dans l'air avec bruit. Au moment où le globe de feu pénétra sous les jupons de la jeune fille, ils s'élargirent comme un parapluie qu'on ouvre. Elle tomba à la renverse. Deux témoins du fait coururent la secourir. Elle n'avait aucun mal! L'examen médical fit seulement remarquer sur son corps une érosion superficielle, s'étendant du genou droit jusqu'au milieu de la poitrine, entre les seins; la chemise avait été mise en pièces dans toute la partie correspondante. On remarqua un trou de deux lignes de diamètre qui traversait de part en part la partie du vêtement appelée pectorine (*pettorina del busto*). *Opusc.*, *t.* XIV, p. 296.

M. Babinet a communiqué le fait suivant, non moins bizarre, à l'Académie des sciences, dans sa séance du 5 juillet 1852.

Rue Saint-Jacques, à Paris, dans le voisinage du Val-de-Grâce, le tonnerre en boule sortit de la cheminée d'une chambre habitée par un ouvrier tailleur, en renversant le châssis de papier qui la fermait. Cette boule de feu ressemblait à un jeune chat, de grosseur moyenne, pelotonné sur lui-même et se mouvant sans être porté sur ses pattes. Il s'approcha de ses pieds comme pour jouer avec. Celui-ci les écarta doucement pour éviter le contact, dont il avait la plus grande peur. Après quelques secondes, le globe de feu s'éleva verticalement à la hauteur de la tête de l'ouvrier assis qui le regardait, et qui, pour éviter d'être touché au visage, se redressa en se renversant en arrière. Le météore continua de s'élever, et se dirigea vers un trou percé dans le haut de la cheminée pour faire passer un tuyau de fourneau en hiver, « mais que le tonnerre ne pouvait voir, dit l'ouvrier, car il était fermé par du papier collé dessus. » Le globe décolle le papier sans l'endommager, entre toujours aussi lentement dans la cheminée, et après avoir pris

le temps de monter jusqu'en haut, du train dont il y allait, produisit une explosion épouvantable qui démolit le faîte, en jeta les débris dans la cour et enfonça les toitures de plusieurs petites constructions.

Le 1[illegible] septembre 1845, vers deux heures après-midi, pendant un violent orage, la foudre atteignit une maison du village de Salagnac (Creuse). Au coup de tonnerre, qui fut très-violent, une boule de feu étincelante descendit par la cheminée. Un enfant et trois femmes qui étaient là n'eurent aucun mal. Elle roula ensuite vers le milieu de la cuisine et passa près des pieds d'un jeune paysan qui s'y trouvait debout. Puis elle entra dans une pièce à côté de la cuisine et y disparut sans laisser aucune trace. Les paysannes effrayées engageaient l'homme à mettre son pied dessus pour l'éteindre; mais celui-ci se rappela s'être fait électriser aux



Fig. 217. — Le tonnerre en boule, traversant une cuisine et une grange.

Champs-Élysées dans un voyage à Paris, il jugea prudent d'éviter, au contraire, tout contact. Dans une petite écurie à côté, on trouva tué un porc qui y était renfermé. La foudre avait traversé de la paille sans y mettre le feu (Sestier).

Ces cas de *tonnerre en boule* sont très-authentiques. Il est probable néanmoins qu'assez souvent certains éclats de foudre, vus de loin, simulent la forme globulaire quoiqu'ils ne soient que de simples éclairs. Ainsi, le 2 juillet 1871, à midi, mon frère, M. Ernest Flammarion, se trouvant à Rouen, sous le péristyle du Palais de Justice, fut enveloppé, en compagnie d'un de ses amis, par un vaste éclair de forme circulaire qui parut s'élever violemment du sol au moment où le tonnerre éclata, et frappa l'un des paratonnerres de l'édifice. De loin, on crut voir une grosse boule de feu se précipiter du sol vers la nue; de près ce n'était qu'un éclair. Peut-être la foudre globulaire est-elle due à un phénomène d'électrisation par influence, l'électricité du sol n'ayant pas toujours assez de tension pour rejoindre instantanément celle du nuage, et marchant à la surface du sol pour s'en détacher enfin et rejoindre la force qui l'attire.

CHAPITRE IV.

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES ORAGES STATISTIQUE DE LA FOUDRE.

Les orages étant une manifestation de l'électricité atmosphérique, et la plus éclatante de toutes, on conçoit qu'ils soient plus fréquents dans les pays chauds que dans les pays froids, et que leur nombre et leur intensité diminuent en allant de l'équateur aux pôles.

Nulle part les orages ne se montrent avec autant de force qu'entre les tropiques. Suivant les voyageurs, on ne peut, dans nos climats, se faire aucune idée de la violence de ces orages; dans la région des calmes, il y a un orage presque tous les jours : aussi pourrait-on l'appeler la région des orages éternels.

La plupart du temps ils accompagnent les grands mouvements atmosphériques que nous avons examinés au chapitre des Cyclones. Les tempêtes, les ouragans, les typhons s'environnent des manifestations de l'électricité, développent sur une large échelle cet élément partout largement répandu, et sèment sur leur passage les fulgurations de l'éclair et les canonnades du tonnerre. Bien souvent les orages de nos climats ne sont que les suites des cyclones de l'Atlantique, et, dans notre France tempérée elle-même, leur marche s'effectue ordinairement du sud ouest au nord-est.

A mesure qu'on s'avance vers les hautes latitudes des régions polaires les orages diminuent. Ainsi, la moyenne du nombre des jours d'orage est de 60 à Calcuta, de 40 à Maryland (États-Unis, 39° de latitude), de 20 au Canada (Québec, latitude 46°), de 15

à Toulon, de 12 à Paris, de 9 jours à Londres et à Pétersbourg, de 0 ou à peu près au Spitzberg.

Il y a cependant des exceptions, comme nous l'avons vu pour la distribution de la chaleur et pour celle des pluies. Ainsi, il paraît qu'à Lima, au Pérou, il ne tonne jamais, quoiqu'on soit dans les régions intertropicales. En Norvége au contraire on compte autant de jours de tonnerre qu'à Paris.

Les orages ont lieu surtout en été dans nos climats. Leur proportion, pour l'Europe occidentale tout entière, est de 53 pour l'été, 21 pour l'automne, 18 pour le printemps, et 8 pour l'hiver. Si l'on s'éloigne des côtes et qu'on regarde seulement l'intérieur de l'Europe, la proportion est de 78 pour l'été, 16 pour le printemps, 6 pour l'automne, et 0 pour l'hiver. Il n'en est plus de même en s'avançant vers les pôles, où la découpure des continents, les presqu'îles si nombreuses, les courants maritimes, les glaces variables, semblent apporter divers éléments d'irrégularité. Ainsi, à Bergen, il y a plus d'orages en hiver qu'en été, très-peu en automne et encore moins au printemps. Sans aller aussi loin, il est curieux de remarquer qu'en Angleterre même il y a plus d'orages à grêle en hiver qu'en été.

Depuis l'année 1863, l'Observatoire de Paris a pu organiser, grâce à l'esprit progressif et clairvoyant de V. Duruy, ministre dont la France gardera longtemps un sympathique souvenir, l'Observatoire, dis-je, a pu organiser un service général d'observations d'orages sur toute l'étendue du pays. Des commissions départementales se chargèrent de recueillir les constatations prises par les instituteurs. Les documents furent centralisés à Paris, et, à l'aide de cartes départementales, on put porter sur les cartes de France les documents météorologiques de chaque jour, en faire la synthèse et suivre facilement la direction, la vitesse et l'ampleur des orages.

Il résulte nettement de ce travail d'ensemble, dit M. Marié-Davy, que les orages ne sont point des phénomènes localisés, comme on l'avait admis jusqu'alors. Ils s'étendent toujours à une partie considérable de la France, et quelquefois la traversent dans toute son étendue, sur une ligne plus ou moins large, mais dépassant parfois 200 et 300 lieues de longueur. Ils exigent, pour se former, une certaine préparation de l'atmosphère, ce qui permet de prévoir leur arrivée. Ils accompagnent constamment les mouvements tournants de l'air.

Parmi les nombreuses cartes construites ainsi à l'Observatoire,

l'une des plus instructives est, entre autres, celle du 9 mai 1865. On y suit facilement la marche de l'orage, d'heure en heure, du midi jusqu'au nord de la France. Nous avons déjà parlé de ce long et remarquable orage dans le chapitre des grêles, p. 684. Il accompagnait une forte bourrasque qui traversa la France de l'O. S. O.

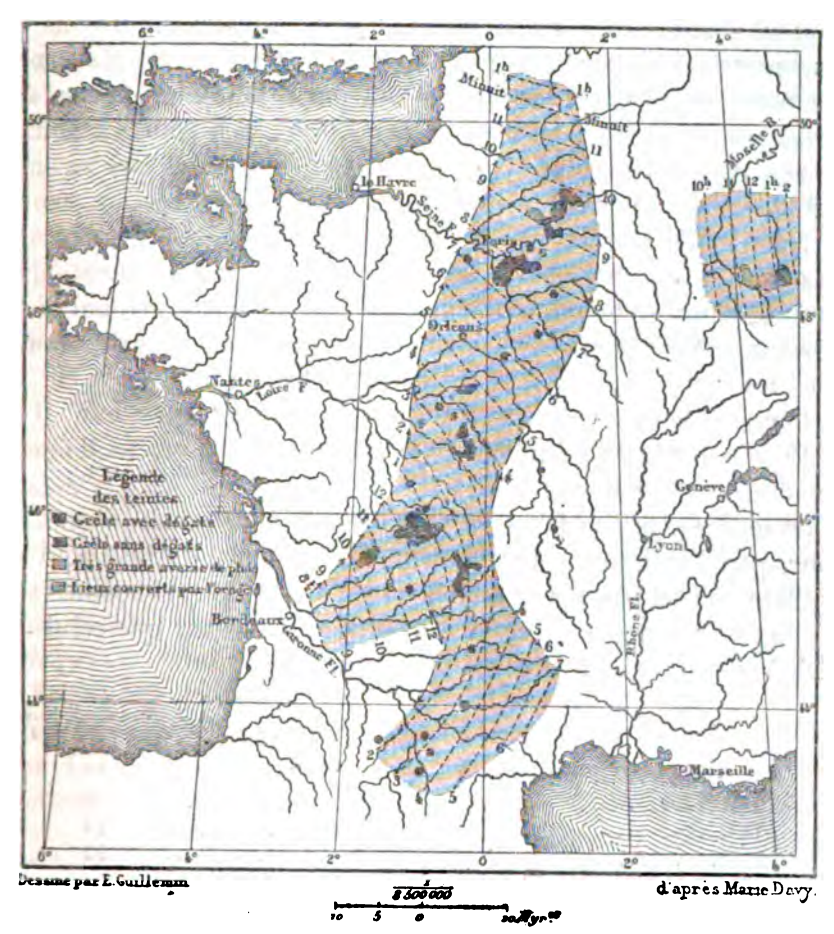


Fig. 218. — Translation de l'orage du 9 mai 1865.

au N. N. E., et dont le centre de dépression atteignit la pointe orientale de l'Angleterre le 9 au matin.

Assez souvent, des orages secondaires se forment ou s'amorcent sur le continent; dans ce cas ils ne s'étendent pas sur un grand nombre de départements, sont dus à des nuages moins élevés que les précédents, subissent l'influence du relief du sol, s'accrochent aux montagnes ou suivent les cours d'eau et les vallées

sur lesquelles ils versent la grêle sans parcimonie, comme nous l'avons vu.

Les orages accomplissent ordinairement une fonction utile et réparatrice dans le système organique terrestre. Ils nettoient l'atmosphère et le sol, chassent les miasmes, renouvellent l'électricité, font circuler l'oxygène, distribuent l'ozone, rajeunissent la nature. Ce sont de ces secousses violentes et salutaires comme il nous en faut parfois à nous-mêmes pour secouer notre torpeur et surexciter notre vie. Quand la tempête est passée, lors même que des branches ont été trop secouées et que des feuilles jonchent le sol, le bois parfumé sourit au ciel, et exhale des parfums qui ne sont jamais si intenses ni si purs qu'après une pluie d'orage.

L'action salutaire des orages en météorologie ne doit cependant pas nous faire oublier les accidents funestes parmi lesquels nous avons, dans le chapitre précédent, remarqué tant de singularités curieuses. Nous pouvons au contraire légitimement nous demander quel est le nombre des victimes de la foudre.

Combien le tonnerre tue-t-il d'hommes par an?

Depuis 1835, le ministère de la justice constate annuellement les décès causés par la foudre. Le docteur Boudin les a relevés à cette source jusqu'en 1863, et j'en ai continué le relevé jusqu'à ce jour, par l'obligeance du directeur des affaires criminelles. Les chiffres ne sont pas encore arrêtés pour l'année 1870, si bouleversée d'ailleurs par un tonnerre bien autrement méchant que celui du ciel. Voici le résultat de cette statistique.

Années.	Nombre d'individus tués par la foudre en France.	Années.	Nombre d'individus tués par la foudre en France.
1835	111	1853	50
1836	59	1854	52
1837	78	1855	96
1838	54	1856	92
1839	55	1857	108
1840	57	1858	80
1841	59	1859	97
1842	73	1860	51
1843	48	1861	101
1844	81	1862	100
1845	69	1863	103
1846	76	1864	87
1847	108	1865	140
1848	79	1866	136
1849	66	1867	119
1850	77	1868	156
1851	54	1869	112
1852	104		2988

En ajoutant à ce nombre un chiffre proportionnel de 86 décès pour les trois départements de l'annexion de la Savoie, qui ne figurent pas ici jusqu'en 1861, on trouve, pour la France entière, un total de 3074 décès par fulguration. C'est donc plus de 3000 depuis 1835, ou en moyenne 90 par an.

Mais les victimes de la foudre ne sont pas représentées seulement par les individus tués *raide*, seule catégorie dont la *justice criminelle* fasse la statistique annuelle. Il existe aussi une catégorie de blessés dont le chiffre excède de beaucoup celui des morts subites.

On peut admettre, sans exagération, que le nombre total des blessés est au moins trois fois plus élevé que celui des personnes tuées. Il résulterait du nombre de 3074 personnes tuées *raide* par la foudre depuis 1835, que l'on pourrait évaluer le nombre total des victimes de la foudre, en France, dans la même période à 10000 environ, ou à une moyenne annuelle de 300.

En admettant la même proportion pour l'ensemble de la population du globe, on trouve que le nombre des personnes *tuées* par la foudre peut être estimé à *dix mille par an* sur la surface entière du globe. C'est quelque chose; c'est trop sans doute. Mais c'est peu comparativement à ce que la guerre détruit : 400000 par an, en moyenne, sur le globe entier.

En examinant les faits et gestes du tonnerre, on a remarqué qu'il n'y a pas égalité d'accidents pour les hommes et pour les femmes, et qu'il y a un privilége en faveur du sexe féminin.

Depuis 1854, le ministère de la justice a, sur la demande du docteur Boudin, rédigé la statistique des décès par fulguration en distinguant les individus des deux sexes. Or, sur 1630 personnes tuées en France par la foudre, de 1854 à 1869, voici quelle a été leur répartition selon le sexe :

Années.	Sexe masculin.	Sexe féminin.	Totaux.
1854	38	14	52
1855	72	24	96
1856	64	28	92
1857	84	24	108
1858	58	22	80
1859	65	32	97
1860	36	15	51
1861	66	35	101
1862	74	26	100
1863	80	23	103
1864	61	26	87
1865	81	59	140
1866	99	37	136
1867	80	39	119
1868	117	39	156
1869	85	27	112
	1160	470	1630

Ce relevé nous offre 1160 hommes tués pour 470 femmes; c'est-à-dire qu'il y a plus du double d'hommes tués par la foudre que de femmes, de deux à trois fois plus, exactement : 2,47. Sur 100 personnes foudroyées, on compte 71 du sexe masculin et seulement 29 du sexe féminin. Les relevés faits dans les autres pays conduisent à peu près au même résultat. A quelle cause le sexe « faible » doit-il d'être ainsi respecté par le tonnerre? A quelle galanterie ce privilége peut-il être rapporté? — Cette différence remarquée provient sans doute tout simplement du fait que les accidents de la foudre arrivent surtout dans les champs, et en général par d'assez mauvais temps, et que, même dans l'agriculture, il y a alors incomparablement plus d'hommes que de femmes dehors, les soins si multiples de la famille et du logis étant partout le lot spécial de la compagne de l'homme.

On a remarqué toutefois que dans un groupe également composé des deux sexes, la foudre s'attaque de préférence aux hommes. Peut-être leur stature plus élevée les expose-t-elle davantage; peut-être les vêtements féminins sont-ils meilleurs protecteurs; peut-être enfin le corps lui-même est-il d'une conductibilité différente dans les deux sexes.... Les enfants sont rarement tués. Ainsi, pour n'en citer qu'un exemple, je vois entre autres qu'au mois de septembre 1867, à Comerly (Corrèze), la foudre a enlevé des bras d'une jeune fille un petit enfant qu'elle a jeté sous un lit sans lui faire le moindre mal.

On a remarqué aussi que le tonnerre paraît avoir certaines prédilections pour des édifices, des objets, et même des personnes.

Les *Affiches des évêchés de Lorraine* de 1782 rapportent entre autres le fait suivant :

« Le jeudi, 22 août, vers minuit, le tonnerre tomba à Metz, près des casernes de Chambière. Après avoir fait éclater la pierre de taille de l'imposte de l'écurie n° 3, il se porte à la croisée du premier étage, en brise les châssis, fond les plombs, casse les vitres; puis, prenant sa direction le long d'une bande de fer, il pénètre dans le joint de la pierre de taille de l'embrasure d'une croisée, fait éclater cette pierre, d'où il prend son issue au second étage après avoir soulevé une planche et opéré à la croisée de cet étage la même dégradation qu'au premier. Du second, il s'élève dans une mansarde, y fait tomber beaucoup de plâtre, casse une hotte, gagne la toiture, écorne les ardoises sur une longueur de 75 centimètres, passe de l'autre côté du toit, brise des planches et des ardoises dans l'espace d'environ 2 mètres carrés, et termine sa course en s'introduisant par les petites fentes du tuyau d'une cheminée voisine, d'où il entre dans la chambre d'un officier, tombe sur le foyer, déplace les pincettes, la pelle à feu, fait voler les cendres au milieu de la chambre et disparaît par la cheminée. Chose remarquable, *c'est dans la même chambre que le tonnerre est tombé le* 27 *mai* 1766, à dix heures du soir, lors de l'incendie qui consuma la caserne. »

Le 10 septembre 1841, la foudre tomba à Péronne, dans la même chambre où, vingt-cinq ans auparavant, elle avait failli tuer le poëte Béranger.

Le 29 juin 1763, le tonnerre pénétra dans l'église d'Antrasme, fondit les dorures des cadres et des colonnes de certaines niches, noircit et grilla les burettes d'étain placées sur une armoire, et perça de deux trous la crédence contenue dans une niche de pierre. Tous ces dégâts ayant été réparés, la foudre tomba le 20 juin 1764 sur la même église, noircit et fondit les dorures qui en 1763 avaient été noircies et fondues, et, dans les mêmes limites, grilla les deux burettes et déboucha les deux trous qui avaient été bouchés et repeints.

Sur douze navires foudroyés plusieurs fois, et signalés par M. Mériam, nous trouvons les renseignements suivants :

En 1845, le navire *le Saxon*, frappé deux fois en dix jours.

En 1861, *le Radient*, foudroyé deux fois en quinze jours.

En 1853. *le Massachusets*, frappé deux fois en mer en une heure.

En 1853, le navire *Louisa*, frappé six fois en mer en une heure; plusieurs hommes sont blessés.

En 1848, le navire *le West-Point*, foudroyé sept fois en mer en trente minutes : deux hommes sont tués.

Existe-t-il des personnes douées de ce triste privilége? — Le docteur Boudin cite deux personnes qui paraissaient l'offrir. La première, le P. Bosco (de Turin), qui nous a été signalé comme ayant été visité par la foudre trois fois dans *trois demeures différentes*. La seconde personne est une dame américaine, Mme Hain, habitant South-Rend (Indiana), et qui fut blessée au pied gauche en mai 1855, après avoir été blessée au même pied quinze ans auparavant.

L'abbé Richard raconte qu'une dame qui habitait en Bourgogne un château, dans une position élevée, *a vu plusieurs fois la foudre pénétrer dans son appartement*, s'y diviser en étincelles de différentes grandeurs, dont la plupart s'attachaient à ses habits qu'elles ne brûlaient point, et laissaient des taches livides sur ses bras et même sur ses cuisses; elle disait à ce sujet que le tonnerre ne lui avait jamais fait d'autre mal que de la fouetter deux ou trois fois, *quoiqu'il tombât assez souvent sur son château*. Elle était en quelque sorte familiarisée avec ses visites, et disait que le tonnerre ne lui faisait d'autre mal que de la fouetter de temps en temps.

« Dans deux situations toutes pareilles, disait déjà Arago, tel homme, *par la nature de sa constitution*, court plus de danger que tel autre. Il existe des personnes qui arrêtent brusquement la communication de l'électricité et ne ressentent pas la secousse, lors même qu'elles occupent la seconde place de la pile. Ces personnes, par exception, ne sont pas conductrices de la matière fulminante. Par exception, il faut donc les ranger parmi les corps non conducteurs que la foudre respecte ou qu'elle frappe du moins rarement. Des différences aussi tranchées ne peuvent pas exister sans qu'il y ait également des nuances. Or, chaque degré de conductibilité correspond, en temps d'orage, à une certaine mesure de danger. L'homme conducteur comme le métal sera aussi souvent foudroyé que le métal; l'homme qui interrompt la communication dans la chaîne n'aura guère plus à craindre que s'il était de verre, de résine. Entre ces limites, il se trouvera des individus que la foudre frappera à l'égal du bois, des pierres, etc. Ainsi, dans les phénomènes du tonnerre, tout ne gît pas dans la place qu'un homme occupe; la constitution physique de cet homme joue aussi un certain rôle. »

Enfin, on a également remarqué que l'homme est moins accessible au foudroiement que les animaux.

En 1715, la foudre tomba sur l'abbaye de Noirmoustiers, près de Tours, et y tua

22 chevaux, sans faire aucun mal à 150 religieux, dont elle visita le réfectoire et dont elle renversa les 150 bouteilles contenant leurs rations de vin.

Le 12 avril 1781, MM. d'Aussac, de Gautran et de Lavallongue, cheminant à cheval, furent frappés par la foudre; les trois chevaux périrent sur le coup; des trois cavaliers, M. d'Aussac seul fut tué.

En l'an IX, la foudre tua, près de Chartres, un cheval et un mulet, en épargnant le meunier qui conduisait ces deux animaux.

En 1810, la foudre tomba dans la chambre de M. Cowens et tua son chien placé à son côté, sans faire le moindre mal au maître.

En 1819, la foudre tomba sur l'église de Châteauneuf-les-Moustiers; elle y tua tous les chiens, mais elle n'ôta la vie qu'à 8 personnes sur plus de 200 qui assistaient à l'office.

Le 26 septembre 1820, la foudre frappa, près de Sainte-Menehould, un laboureur conduisant sa charrue; ses deux chevaux furent tués; l'homme en fut quitte pour une surdité passagère.

En 1826, un enfant conduisait une jument près de Worcester; la foudre tomba, tua la jument et ne fit rien à l'enfant.

Le 1er juin 1855, le tonnerre tomba sur un troupeau de moutons, dans la commune de Saint-Léger-la-Montagne (Haute-Vienne); 78 moutons et 2 chiens de garde ont été tués sur le coup. Une femme qui gardait le troupeau a été légèrement atteinte.

Le 13 août 1852, la foudre tomba sur un fermier de Saint-Georges-sur-Loire, au moment où il conduisait quatre bœufs. Deux de ces animaux furent tués; le fermier en fut quitte pour un engourdissement de la jambe gauche; un troisième bœuf fut paralysé du côté gauche.

Le 2 février 1859, un troupeau de porcs fut surpris par une trombe, aux environs de Liége; cent quarante de ces animaux périrent asphyxiés; leurs conducteurs n'éprouvèrent pas le moindre accident.

Pendant la journée du 15 août 1862, trois filles gardaient leurs troupeaux. Vers les cinq heures éclata un violent orage, la pluie tombait à torrents, le tonnerre grondait avec fracas; les bergères, prises à l'improviste, n'avaient pas eu le temps de rentrer leurs troupeaux. Les deux premières cherchèrent un abri contre l'orage en se plaçant sous un châtaignier. La troisième se réfugia sous un chêne, distant de 25 mètres environ de l'endroit où étaient ses camarades. Soudain un coup de tonnerre retentit sur leurs têtes; une masse de feu descendit sur le châtaignier où étaient les deux autres, et les enveloppa de tous côtés. La troisième aperçut le feu, sentit l'odeur du soufre et tomba évanouie. Quand elle eut repris connaissance, ses deux compagnes ne donnaient plus aucun signe de vie; leurs vêtements étaient brûlés et leurs sabots brisés. Auprès d'elles se trouvaient cinq brebis, un porc et une ânesse, tués par la foudre. Le chien de la bergère avait été coupé en deux.

« Le 11 mai 1865, vers six heures et demie du soir, dit le journal belge *la Meuse*, un berger, nommé Wéra, se trouvait aux champs avec un troupeau de brebis, lorsque les approches d'un orage le décidèrent à regagner le logis. Arrivés au sommet de la montagne dite le Gay-Vieux-Sarts, dans un chemin étroit et difficile, les moutons se formèrent en deux groupes, les têtes serrées les unes contre les autres, et refusèrent d'avancer. Wéra se mit à l'abri derrière un buisson, lorsqu'un formidable coup de tonnerre se fit entendre. Le berger venait d'être foudroyé avec tout son troupeau. Il avait été atteint au sommet de la tête : tous ses cheveux étaient enlevés à partir de la nuque, et le fluide électrique avait tracé un sillon sur son front, son visage et sa poitrine. Son corps était dans un état complet de nudité. Tous ses vêtements étaient réduits en lambeaux. Du reste, pas de trace de sang. Le fer de sa houlette, détaché du manche, avait été lancé à plusieurs mètres de distance, et le manche lui-même brisé en deux morceaux. Un petit crucifix en métal et un scapulaire que Wéra portait sur lui furent retrouvés à quinze mètres de

distance. Des 152 moutons dont se composait le troupeau, 126 avaient été tués; ils étaient couverts de sang, et leurs blessures étaient aussi variées que bizarres. *Les uns avaient la tête tranchée net, les autres la tête percée d'outre en outre, d'autres les jambes fracturées*. Quant au chien, on ne sait ce qu'il est devenu. »

Le 24 juin 1822, près de Hayiensen (Wurtemberg), un berger et 216 moutons sur 248 furent tués en plein champ par le tonnerre.

Enfin, au rapport de M. d'Abbadie, un orage, en Éthiopie, aurait d'un seul coup tué 2000 chèvres et le berger qui les gardait.

La foudre paraît aussi avoir des préférences pour certaines espèces d'arbres.

Les anciens pensaient que le laurier préservait du tonnerre. Le hêtre a joui jusqu'à présent dans nos climats de la réputation d'être inaccessible à la foudre; cependant ce n'est pas tout à fait exact, comme on va le voir.

Parmi les nombreux faits et gestes du tonnerre que j'ai recueillis depuis des années, j'ai 166 notifications d'espèces d'arbres, qui se classent comme il suit pour le nombre de coups de foudre relatifs à chaque espèce :

54 chênes.	6 hêtres.	2 pommiers.	1 figuier
24 peupliers.	5 frênes.	1 sorbier.	1 oranger.
14 ormes.	4 poiriers.	1 mûrier.	1 olivier.
11 noyers.	4 cerisiers.	1 aulne.	0 bouleau.
10 sapins.	3 catalpas.	1 faux-ébénier.	0 érable.
7 saules.	3 châtaigniers.	1 acacia.	
6 pins.	2 tilleuls.	1 robinia-pseudo-acacia.	

On peut remarquer que la hauteur des arbres n'est pas la cause essentielle de leur foudroiement plus ou moins fréquent, et le tableau qui précède ferait vraiment croire que l'essence même de l'arbre a une influence réelle. Car pourquoi les oliviers, les mûriers, les bouleaux, les érables, si nombreux dans certaines contrées, sont-ils à peine frappés? La hauteur des arbres joue un rôle : il est certain que si plusieurs arbres sont rapprochés au milieu d'une plaine, la foudre frappera de préférence les plus élevés. Nous en possédons de nombreux exemples. L'isolement des arbres, l'élévation du terrain, la situation par rapport à l'orage, la nature du sol, la forme du feuillage et celle des racines ont une influence marquée sur les effets de la foudre et sur sa tendance à frapper les arbres. Elle atteint de préférence ceux dont les racines sont à la fois profondes et étalées.

Examinons maintenant la statistique de la foudre suivant les lieux. Relevons la distribution géographique des coups de foudre : elle est singulièrement curieuse, même sur une seule contrée comme la France. La marche des orages, le relief du sol, ont une influence marquée sur le degré de fréquence des coups de foudre. Les diverses provinces sont loin d'être exposées de la même façon aux risques du tonnerre. Voici le relevé par départements de tous les décès par fulguration enregistrés au ministère de la justice depuis 1835 :

DÉPARTEMENTS CLASSÉS DANS L'ORDRE CROISSANT DU NOMBRE PROPORTIONNEL DES DÉCÈS PAR FULGURATION DEPUIS 1835.

Nombre croissant des risques.	Départements.	Nombre des personnes tuées raide depuis 1835.	Nombre d'habitants pour un foudroyé.
1	Seine	30	70.000
2	Orne	7	69.000
3	Manche	10	57.000
4	Calvados	9	53.000
5	Seine-Inférieure	17	46.000
6	Côtes-du-Nord	17	38.000
7	Ille-et-Vilaine	16	37.000
8	Eure-et-Loir	8	36.000
9	Sarthe	15	31.000
10	Mayenne	12	30.500
11	Eure	13	30.000
12	Seine-et-Oise	18	29.000
13	Morbihan	18	27.500
14	Nord	52	27.300
15	Aisne	21	27.000
16	Vendée	17	24.000
17	Finistère	30	22.400
18	Loiret	16	22.100
19	Maine-et-Loire	24	22.000
20	Seine-et-Marne	18	20.500
21	Somme	28	20.300
22	Ardennes	16	20.000
23	Loire-Inférieure	30	19.900
24	Pas-de-Calais	40	19.200
25	Tarn-et-Garonne	18	19.000
26	Oise	22	18.000
27	Moselle	26	17.000
28	Meuse	18	16.600
29	Rhône	41	16.500
30	Indre	18	16.400
31	Indre-et-Loire	20	16.300
32	Loir-et-Cher	17	16.100
33	Marne	24	16.000
34	Dordogne	25	15.300
35	Haut-Rhin	34	15.000
36	Landes	21	14.500
37	Charente Infér.	33	14.200
38	Yonne	37	14.000
39	Bouches-du-Rhône	44	13.500
40	Aube	20	13.300
41	Vienne	25	13.200
42	Bas-Rhin	46	13.100
43	Charente	29	13.000
44	Haute-Garonne	39	12.500
45	Gard	35	12.400
46	Aude	23	12.200
47	Hérault	36	12.000
48	Isère	51	11.500
49	Gironde	63	11.[illegible]00
50	Nièvre	31	11.200
51	Cher	30	11.100
52	Vosges	38	11.000
53	Gers	29	10.300
54	Savoie	27	10.000
55	Meurthe	44	9.800
56	Basses-Pyrénées	45	9.700
57	Tarn	37	9.600
58	Vaucluse	28	9.500
59	Haute-Vienne	34	9.300
60	Deux-Sèvres	34	9.000
61	Hautes-Pyrénées	28	8.700
62	Haute-Saône	37	8.600
63	Pyrénées-Orient.	23	8.200
64	Var	38	8.000
65	Lot-et-Garonne	42	7.800
66	Lot	38	7.700
67	Ariége	33	7.600
68	Ain	48	7.500
69	Haute-Marne	35	7.400
70	Saône-et-Loire	83	7.200
71	Côte-d'Or	54	7.000
72	Doubs	43	6.900
73	Loire	77	6.800
74	Aveyron	64	6.200
75	Drôme	54	6.000
76	Jura	50	5.900
77	Ardèche	7[illegible]	5.600
78	Puy-de-Dôme	105	5.500
79	Corrèze	57	5.400
80	Creuse	51	5.300
81	Cantal	47	5.100
82	Allier	75	5.000
83	Alpes-Maritimes	41	4.800
84	Corse	54	4.700
85	Haute-Savoie	61	4.400
86	Hautes-Alpes	31	3.900
87	Basses-Alpes	44	3.300
88	Haute-Loire	98	3.200
89	Lozère	60	2.300

On voit combien le nombre proportionnel des victimes de la foudre varie d'un département à l'autre. Les départements qui ont le plus souffert sont la Lozère, les Basses et les Hautes-Pyrénées et la Haute-Savoie ; les plus épargnés sont la Seine, l'Orne, la Manche et le Calvados. La proportion des victimes a été 30 fois plus élevée dans la Lozère que dans la Seine.

Au point de vue du nombre absolu des tués, sans tenir compte de la proportion de population, le maximum 105 appartient au Puy-de-Dôme, le minimum 7 appartient à l'Orne.

Plus le nombre des années que l'on considère est grand, et plus le résultat se rapproche de la réalité normale. Si l'on compare le tableau précédent à celui que le docteur Boudin a publié en 1863, on verra que le classement varie presque pour chaque département, quoique l'ensemble soit le même, et indique déjà, aussi bien dans l'ancien que dans celui-ci, l'influence dominante du relief des montagnes.

C'est particulièrement sur le plateau central, puis dans les Alpes et les Py-

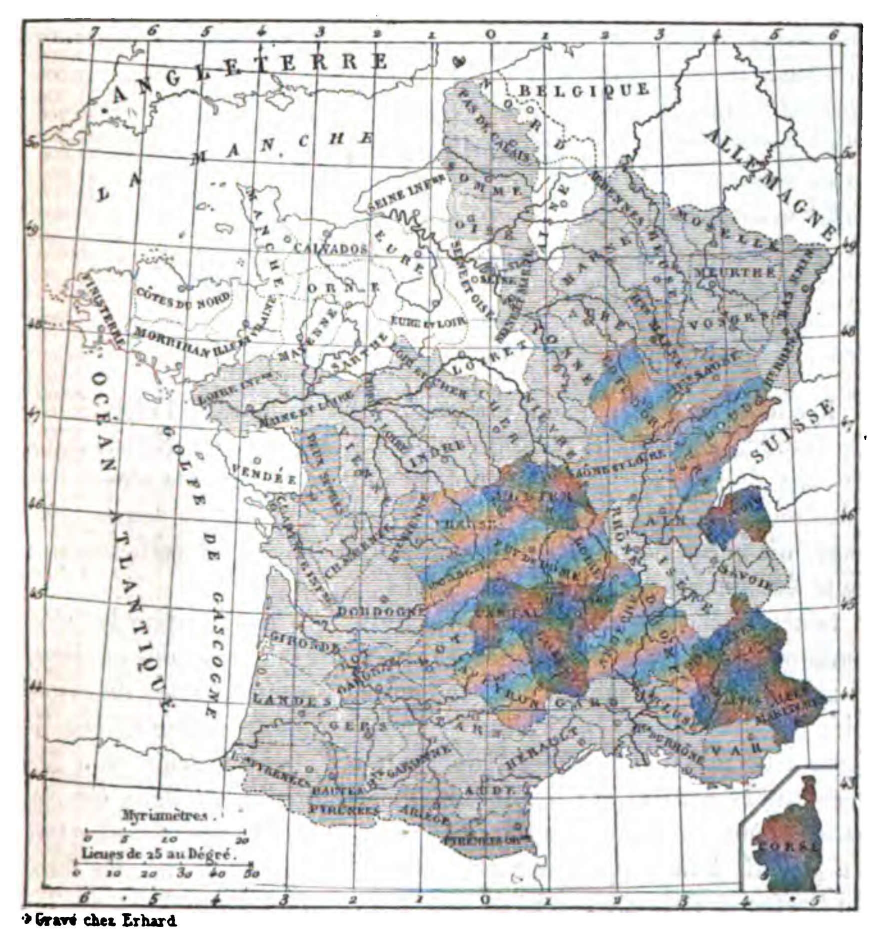


Fig. 219. — Distribution des coups de foudre en France par départements.
(*La teinte est proportionnelle aux risques.*)

rénées, que se localisent les maxima d'accidents ; les minima correspondent au littoral de la Manche et à la partie septentrionale du littoral de l'océan Atlantique ; entre ces deux zones se placent les départements dont les accidents de foudre sont représentés par des chiffres nécrologiques de moyenne intensité.

Si des départements nous passons à l'examen des localités, nous trouvons que sur 55 décès par fulguration constatés en 1853 et 1854, et dont il nous a été permis de consulter les procès-verbaux, pas un seul décès n'a été observé dans un chef-lieu de département. Il y a moins de risques à courir dans les villes que dans la campagne.

CHAPITRE V.

FEUX SAINT-ELME ET FEUX FOLLETS.

Les feux Saint-Elme sont une manifestation lente de l'électricité, un écoulement léger et pacifique, comme celui de l'hydrogène dans un bec de gaz, qui rayonne doucement sur les points élevés des paratonnerres, des édifices, des navires, pendant les temps d'orage, où la tension électrique terrestre est fortement sollicitée par celle des nuages.

Sénèque écrivait déjà il y a deux mille ans que pendant les violents orages on voit des étoiles se poser sur les voiles des navires. Il ajoutait que les marins en péril croient alors que les divinités bienfaisantes *Castor* et *Pollux* viennent à leur secours. On lit dans Tite Live que le javelot dont Lucius venait d'armer son fils récemment enrôlé, jeta des flammes pendant plus de deux heures sans en être consumé. Au moment où la flotte de Lysandre sortait du port de Lampsaque pour attaquer la flotte athénienne, les feux de Castor et Pollux allèrent se placer des deux côtés de la galère de l'amiral lacédémonien. Chez les anciens, ces météores lumineux étaient regardés comme des présages et recueillis scrupuleusement par les historiens. Une seule flamme, considérée comme un signe menaçant, portait le nom d'Hélène. Les feux doubles présageaient le beau temps et d'heureuses entreprises. « Les gens de mer, dit le fils de Christophe Colomb, tiennent pour certain que le danger de la tempête est passé lorsque *Saint-Elme* paraît. Pendant le second voyage de l'amiral, dans une nuit d'octobre 1493, il tonnait et il pleuvait à verse, lorsque Saint-Elme se montra sur le mât de perroquet avec sept cierges allumés. A cette

apparition merveilleuse, les hommes de l'équipage se répandirent en prières et en actions de grâces. » Herrera rapporte que les matelots de Magellan avaient les mêmes superstitions : « Pendant les grandes tempêtes, dit-il, Saint-Elme se montrait au sommet du mât de perroquet, tantôt avec un cierge allumé, tantôt avec deux. Ces apparitions étaient saluées par des acclamations et des larmes de joie. » Le passage suivant, emprunté aux mémoires de Forbin, présente un exemple du même phénomène avec des proportions extraordinaires. C'était en 1696, par le travers des Baléares. « La nuit devint tout à coup d'une obscurité profonde, dit-il, avec des éclairs et des tonnerres épouvantables. Dans la crainte d'une grande tourmente dont nous étions menacés, je fis serrer toutes les voiles. Nous vîmes sur le vaisseau plus de *trente feux Saint-Elme*. Il y en avait un, entre autres, sur le haut de la girouette du grand mât qui avait *plus d'un pied et demi de hauteur*. J'envoyai un matelot *pour le descendre*. Quand cet homme fut en haut, il cria que ce feu faisait un bruit semblable à celui de la poudre qu'on allume après l'avoir mouillée. Je lui ordonnai d'enlever la girouette et de venir; mais à peine l'eut-il ôtée de sa place, que le feu la quitta et alla se poser sur le bout du grand mât, sans qu'il fût possible de l'en retirer. Il y resta assez longtemps et puis se consuma peu à peu. »

Les feux Saint-Elme se montrent le plus souvent sur les navires.

Voici quelques-unes des dernières observations faites :

Le 23 décembre 1869, par une latitude de 46° 53′ nord et une longitude de 9° 55′ ouest; barom. : 752; therm. : 9° 5′, le paquebot *l'Impératrice-Eugénie* relève sur son journal de bord que des grains d'une grande violence se font sentir. Des éclairs vifs et fréquents éclatent à chaque instant sur tous les points de l'horizon, sans qu'on entende aucun coup de tonnerre. Dans la nuit, ces grains sont accompagnés d'une grêle abondante, et quand ils passent sur le navire, ils produisent le phénomène connu sous le nom de *feu Saint-Elme*.

Des aigrettes lumineuses, de couleur bleue et d'une hauteur d'un pied et demi environ, se montrent au-dessus des pointes des paratonnerres, à chaque mât. La mâture et le gréement paraissent phosphorescents, et les extrémités des vagues offrent aussi des aigrettes, mais moins belles que celles des mâts. Ces lueurs se montrent aussitôt que le grain atteint le navire. Très-brillantes quand le vent souffle avec toute sa violence, elles diminuent d'éclat quand il mollit, et disparaissent avec le grain. Les parties seules de la mâture et du gréement qui reçoivent directement l'action du grain

offrent cette apparence lumineuse. On les dirait frottées avec du phosphore. Le phénomène ne se produit pas sur les parties abritées, si peu qu'elles le soient, et ne descend pas au-dessous des vergues de hune, à 30 mètres environ au-dessus du niveau de la mer. Plusieurs fois dans la nuit le phénomène s'est reproduit, mais seulement pendant les grains accompagnés de grêle.

Les feux Saint-Elme se montrent également sur les clochers. Voici l'un des derniers exemples observés.

Le 2 mars 1869, ces flammes sont apparues sur l'église de la commune de Sainte-Catherine-de-Fierbois, canton de Sainte-Maure, arrondissement de Chinon; le tonnerre ne s'est point fait entendre pendant l'orage, et le clocher a désarmé les nuées orageuses. « Vers la fin de la tempête, et lorsque le vent était moins fort et que la pluie tombait avec moins d'abondance, écrit un correspondant de l'Association scientifique, plusieurs personnes ont aperçu comme une couronne de feu autour de la croix qui surmonte le clocher de l'église, à une hauteur d'environ 40 mètres. Un des témoins oculaires l'a considérée au moins cinq minutes (il n'a pas vu commencer le phénomène); la clarté était telle, que le clocher et sa croix se voyaient comme en plein jour; enfin la lueur est devenue presque imperceptible et s'est éteinte comme une chandelle qui est entièrement consumée et sans se déplacer. »

On a remarqué plusieurs fois les aigrettes lumineuses de l'électricité sur la flèche de Notre-Dame de Paris, pendant certains violents orages du soir en été.

Les feux Saint-Elme se montrent parfois sur l'homme lui-même, sur ses vêtements, sur les objets qu'il tient à la main.

Jules César raconte qu'au mois de février, vers la deuxième veille de la nuit, il s'éleva subitement un nuage épais, suivi d'une pluie de pierres; et la même nuit les pointes des piques de la cinquième légion parurent s'enflammer.

Suivant Procope, un phénomène semblable apparut sur les lances et les piques des soldats de Bélisaire dans sa guerre contre les Vandales.

Tite Live dit que les piques de quelques soldats, en Sicile, et une canne que portait à la main un cavalier, en Sardaigne, parurent être en feu. Les cottes furent elles-mêmes lumineuses et brillèrent de feux nombreux.

Lorsque, en 1769, au milieu d'un violent orage, de brillantes aigrettes apparurent sur la croix du clocher de Hohen-Gebrachim, deux voisins, accourus pour éteindre le feu qui leur paraissait en-

vahir le clocher, furent aussi surpris qu'effrayés de se voir la tête couverte de feu et de lumière.

Le 8 mai 1831, après le coucher du soleil, toute l'Atmosphère était en feu et annonçait un violent orage; on aperçut à l'extrémité des mâts de pavillon, à Alger, une lumière blanche en forme d'aigrette qui persista pendant une demi-heure. Des officiers d'artillerie et du génie se promenaient sur la terrasse du fort Bab-Azoun; chacun, en regardant son voisin, remarqua avec étonnement que les extrémités de ses cheveux étaient tout hérissées de petites aigrettes lumineuses. Quand ces officiers levaient les mains, des aigrettes se formaient aussi au bout de leurs doigts.



Fig. 220. — Feux Saint-Elme sur la flèche de Notre-Dame de Paris.

Dans quelques cas le feu Saint-Elme s'est présenté sous la forme de flammes, d'autres fois on a vu le corps de l'homme tout rayonnant de lumière.

Peytier et Hossard, dans les Pyrénées, ont été plusieurs fois enveloppés dans des foyers d'orage tellement formidables, vus de la plaine, qu'on les croyait perdus. Plusieurs fois leurs cheveux, les glands de leurs casquettes, se dressèrent et répandirent une vive lumière accompagnée d'un sifflement prononcé. — Letestu, en 1786, resta dans son aérostat pendant trois heures de la nuit au milieu d'un orage; il entendait un bruit étourdissant; sa nacelle s'emplissait de neige et de grêle, les dorures de son drapeau étaient scintillantes.

Le dégagement de l'électricité du sol dans l'Atmosphère est parfois accompagné de phénomènes singuliers, d'une espèce de *bourdonnement* électrique au sommet des montagnes.

M. Henri de Saussure se trouvait avec quelques touristes sur le

sommet du pic Sarley (3200 mètres de hauteur), près de Saint-Moritz, dans les Grisons, le 22 juin 1867, vers une heure de l'après-midi. Les ascensionnistes avaient traversé une pluie de grésil, et venaient d'appuyer leurs bâtons ferrés contre un rocher, pour se disposer à prendre leur repas, lorsque M. de Saussure éprouva dans le dos, aux épaules, une douleur fort vive, comme celle que produirait une épingle enfoncée lentement dans les chairs.

« Supposant d'abord que mon par-dessus de toile contenait des épingles, je le jetai; mais, loin de me trouver soulagé, je sentis que les douleurs augmentaient, envahissant tout le dos, d'une épaule à l'autre; elles étaient accompagnées de chatouillements, d'élancements douloureux, comme ceux qu'aurait pu produire une guêpe qui se serait promenée sur ma peau en me criblant de piqûres. Otant à la hâte mon second gilet, je n'y découvris rien qui fût de nature à blesser les chairs.

« La douleur, qui persistait toujours, prit alors le caractère d'une brûlure. Sans y réfléchir davantage, je me figurai, sans pouvoir l'expliquer, que ma chemise de laine avait pris feu. J'allais donc jeter le reste de mes vêtements, lorsque notre attention fut attirée par un bruit qui rappelait les stridulations des bourdons. C'étaient nos trois bâtons, qui, appuyés au rocher, *chantaient* avec force, émettant un bruissement analogue à celui d'une bouilloire dont l'eau est sur le point d'entrer en ébullition. Tout cela pouvait avoir duré quatre ou cinq minutes.

« Je compris à l'instant que mes sensations douloureuses provenaient d'un écoulement électrique très-intense qui s'effectuait par le sommet de la montagne. Quelques expériences improvisées sur nos bâtons ne laissèrent apercevoir aucune étincelle, aucune clarté appréciable de jour. Ils vibraient avec force dans la main et rendaient un son très-prononcé; qu'on les tînt dirigés verticalement, la pointe de fer soit en haut, soit en bas, ou bien horizontalement, les vibrations restaient identiques, mais aucun bruit ne s'échappait du sol.

« Le ciel était devenu gris dans toute son étendue, quoique inégalement chargé de nuages. Quelques minutes après, je sentis mes cheveux et les poils de ma barbe se dresser, en me faisant éprouver une sensation analogue à celle qui résulte d'un rasoir passé à sec sur des poils raides. Un jeune Français qui m'accompagnait s'écria qu'il sentait se dresser tous les poils de sa moustache naissante et que, du sommet de ses oreilles, il partait des courants très-forts. En élevant la main, je sentais des courants non moins prononcés s'échapper de mes doigts. Bref, une forte électricité s'échappait des bâtons, habits, oreilles, cheveux, et de toutes les parties saillantes de nos corps.

« Un seul coup de tonnerre se fit entendre vers l'ouest dans le lointain. Nous quittâmes la cime de la montagne avec une certaine précipitation, et nous descendîmes une centaine de mètres. A mesure que nous avancions, nos bâtons vibraient de moins en moins fort, et nous nous arrêtâmes lorsque leur son fut devenu assez faible pour ne plus être perçu qu'en les approchant de l'oreille. »

Le même observateur a été témoin d'un autre cas d'écoulement de l'électricité par le sommet des montagnes, lorsqu'il visita, il y a plusieurs années, le Nevado de Toluca, au Mexique; mais ici le phénomène avait plus d'intensité encore, comme on pouvait s'y attendre, puisqu'il se passait sous les tropiques, et à une altitude d'environ 4500 mètres.

L'écoulement de l'électricité par les rochers culminants se produit souvent par un ciel chargé de nuages bas, enveloppant les cimes, en passant à une faible distance au-dessus d'elles; cet écoulement soulage assez la tension électrique pour empêcher la foudre de se former.

Dans la nuit du 11 août 1854, M. Blackwell, stationnant sur les Grands-Mulets (altitude, 3455 mètres), le guide F. I. Couttet sortit de la cabane vers 11 heures du soir et vit les crêtes de ces montagnes tout en feu. Il parla aussitôt de son observation à ses compagnons; tous voulurent s'assurer du fait, et effectivement ils virent qu'en vertu d'un effet d'électricité produit par la tempête, chacune des saillies rocheuses des alentours semblait illuminée. Leurs vêtements étaient littéralement couverts d'étincelles, et lorsqu'ils levaient les bras, les doigts devenaient phosphorescents.

La neige n'est pas opposée à ces manifestations; c'est du moins un fait qui ressort des détails suivants : Le 10 juillet 1863, M. Watson, accompagné de plusieurs autres touristes et de guides, visitait le col de la Jungfrau. La matinée avait été très-belle; mais, en approchant du col, la caravane fut assaillie par un fort coup de vent accompagné de grêle.

Un formidable coup de tonnerre retentit, et, bientôt après, M. Watson entendit une espèce de sifflement qui partait de son bâton : ce bruit ressemblait à celui que fait une bouilloire dont l'eau en ébullition chasse vivement la vapeur au dehors. On fit une halte, et l'on remarqua que les cannes ainsi que les haches dont chacun était muni émettaient un son pareil. Ces mêmes objets, enfoncés dans la neige par l'une de leurs extrémités, n'en continuèrent pas moins à produire ce singulier sifflement. Alors un des guides ôta son chapeau, en s'écriant que sa tête brûlait. En effet, ses cheveux étaient hérissés comme ceux d'une personne qu'on électrise sous l'influence d'une puissante machine, et chacun éprouva des picotements, une sensation de chaleur au visage aussi bien que sur d'autres parties du corps. Les cheveux de M. Watson se tenaient droits et raides; le voile qui garnissait le chapeau d'un autre voyageur se dressa verticalement, et l'on entendait le sifflement électrique au bout des doigts agités dans l'air.

La neige elle-même émettait un bruit analogue à celui qui se serait produit par la chute d'une vive ondée de grêle. Cependant aucune apparition de lumière ne se manifesta; mais certainement il n'en eût pas été ainsi durant la nuit.

Ces divers phénomènes sont dus uniquement à des dégagements d'électricité. Il ne faut pas confondre avec les feux Saint-Elme des lueurs qui offrent avec eux la plus grande ressemblance, les *feux follets*. Ceux-ci n'ont pas l'électricité pour cause.

Le feu follet est une flamme errante et légère, produite par les émanations de gaz *hydrogène* phosphoré qui s'élève des lieux où des matières animales ou végétales se décomposent, tels que les cimetières, les voiries, les marais, et qui s'enflamment spontanément en se combinant avec l'oxygène de l'air.

Ces lueurs vacillantes ont toujours frappé tristement l'esprit superstitieux des populations. L'imagination effrayée les a souvent regardées comme des âmes errantes au-dessus des ruines, et plus d'une fois elles ont terrifié et jeté à genoux dans le silence de la nuit ceux qui les voyaient glisser entre les tombes sinistres du cimetière.

Il s'en dégage quelquefois subitement à l'ouverture des anciens sépulcres ; et comme autrefois on plaçait au fond des tombeaux des lampes allumées, les esprits crédules s'imaginèrent que leur clarté était inextinguible. On rapporte que sous le pontificat de Paul III, élu pape le 13 octobre 1534, on trouva dans la voie Appienne un ancien tombeau avec cette inscription : *Tulliolæ filiæ meæ*. Au premier souffle d'air, le corps de la fille de Cicéron fut réduit en poussière, et *une lampe encore allumée s'éteignit*, dit-on, *après avoir brûlé plus de quinze cents ans*. Certains corps ensevelis depuis longtemps furent même trouvés (Raulin, *Observ. de médecine*, p. 393) brillant dans leur cercueil d'une lumière phosphorescente. Le criminel d'État Freburg ayant été condamné au gibet par suite de ses longues prévarications, on vit pendant plusieurs nuits sa tête environnée d'une auréole lumineuse, et quelques Danois, trompés par cette sorte de prodige dont ils ne connaissaient pas la cause naturelle, la regardèrent comme une preuve d'innocence.

La Commune de Paris en 1871, qui s'est éteinte au milieu du sang et de l'incendie en sauvant la vie de ses principaux chefs, et en faisant fusiller des milliers d'hommes du peuple, dont un grand nombre ne la soutenaient que pour donner du pain à leurs familles, a jeté dans la fosse commune bien de ces pauvres gens, moins bien enterrés que des chiens, et qui pourrirent ensemble sous l'action dissolvante de la pluie et de la chaleur de juin. Avant l'entrée des troupes du gouvernement à Paris, l'ouest de la capitale, théâtre de tant de combats, était déjà criblé de fosses, et les ravins d'Issy et

de Meudon avaient servi de dernière demeure aux bataillons de marche fédérés. Comme rien ne se perd dans la nature, l'hydrogène de ces corps décomposés s'élevait le soir dans les airs sous



Fig. 221. Feux follets de fédérés (Issy, juin 1871).

la forme de légères flammes bleuâtres. Feux follets éphémères ! C'est tout ce qui devait survivre à tant de tapage, à tant de violences, à tant de prétentions.

CHAPITRE VI.

LES PARATONNERRES.

DERNIÈRE COMMUNICATION OFFICIELLE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES. COMMISSAIRES : MM. BECQUEREL, BABINET, DUHAMEL, FIZEAU, REGNAULT, LE MARÉCHAL VAILLANT; POUILLET, RAPPORTEUR.

I. — PROPOSITIONS GÉNÉRALES.

1. Les nuages orageux qui portent la foudre ne sont autre chose que des nuages ordinaires chargés d'une grande quantité d'électricité.

L'éclair qui sillonne le ciel est une immense étincelle électrique dont les deux points de départ sont sur deux nuages éloignés et chargés d'électricités contraires.

Le tonnerre est le bruit de l'étincelle.

La foudre est l'étincelle elle-même; c'est la recomposition des électricités contraires.

Quand l'un des points de départ de l'éclair est à la surface du sol, on dit que le tonnerre tombe, ou plutôt que la foudre tombe, et que les objets terrestres sont foudroyés. Alors tous les points du sillon de l'éclair sont encore la recomposition ou la neutralisation des deux électricités contraires, dont l'une est fournie par le nuage et l'autre par la terre elle-même.

Comment la terre, qui est en général à l'état naturel et sans électricité apparente, se trouve-t-elle ainsi chargée d'électricité et d'une électricité contraire à celle du nuage au moment même où elle est foudroyée?

Telle est la première question que nous avons à examiner.

2. Avant que la foudre éclate, le nuage orageux qui la porte, bien qu'il soit à plusieurs kilomètres de hauteur, agit par influence pour repousser au loin l'électricité de même nom et pour attirer l'électricité de nom contraire. Cette influence tend à s'exercer sur tous les corps; mais elle n'est réellement efficace que sur de bons conducteurs; tels sont à des degrés différents les métaux, l'eau, le sol très-humide, les corps vivants, les végétaux, etc.

Le même conducteur éprouve de la part du nuage des effets très-différents, suivant sa forme et ses dimensions, et surtout suivant sa parfaite ou imparfaite communication avec le sol.

Un arbre, par exemple, quand il se trouve dans une terre médiocrement humide,

ne reçoit qu'une très-faible influence, parce que l'électricité de même nom ne peut pas être repoussée au loin dans cette terre, qui n'est qu'un très-mauvais conducteur pour les grandes charges électriques.

Si cet arbre, au contraire, se trouve dans une terre très-humide et d'une vaste étendue, il sera fortement influencé, parce que l'électricité de même nom peut s'étendre au loin dans ce bon conducteur. Enfin il sera influencé autant qu'il peut l'être, si ce bon conducteur, vers ses limites, est lui-même en bonne communication avec d'autres nappes d'eau indéfinies.

Quand il s'agit de l'électricité de nos machines, la surface de la terre telle qu'elle se présente est ce qu'on appelle le *sol*, ou le *réservoir commun*. On peut l'appeler ainsi, puisque sa conductibilité est suffisante pour disperser ou neutraliser toutes les petites charges électriques.

Quand il s'agit de la foudre, la terre végétale, dans son état habituel, n'est plus ce que l'on peut appeler le réservoir commun; elle devient relativement un mauvais conducteur, ainsi que les formations géologiques de diverses natures sur lesquelles elle repose. Il faut arriver à la première nappe aquifère, c'est-à-dire à la nappe des puits qui ne tarissent jamais (nous l'appellerons ici *la nappe souterraine*), pour trouver une couche dont la conductibilité soit suffisante. Celle ci, à raison de son étendue et de ses ramifications multipliées, ne peut pas être isolée des cours d'eau voisins, et avec eux, avec les fleuves et les rivières, avec la mer elle-même, elle constitue ce qu'on doit appeler le réservoir commun des nuages foudroyants, et, par conséquent, le réservoir commun des paratonnerres.

En effet, pendant que le nuage orageux exerce partout au-dessous de lui son influence attractive sur le fluide de nom contraire et répulsive sur le fluide de même nom, c'est surtout la nappe souterraine qui reçoit cette influence avec une incomparable efficacité. Alors toute sa surface supérieure se charge d'électricité contraire que le nuage y accumule par son attraction, tandis que l'électricité de même nom est repoussée et dispersée au loin dans le réservoir commun. Aussi, quand la foudre éclate, les deux points de départ de l'éclair sont, l'un sur le nuage et l'autre sur la nappe souterraine, qui est en quelque sorte le deuxième nuage nécessaire à l'explosion de la foudre.

C'est ainsi que le globe de la terre, sans cesser d'être à l'état naturel dans son ensemble, se trouve éventuellement électrisé sur quelques points par la présence des nuages orageux.

Les édifices, les arbres, les corps vivants, frappés par la foudre, ne doivent être considérés que comme des intermédiaires qui se trouvent sur son chemin et qu'elle frappe en passant.

Toutefois, il ne faudrait pas en conclure que ces intermédiaires sont essentiellement passifs, et qu'ils ne contribuent jamais à modifier ou même à déterminer la direction du coup de foudre. Il est certain au contraire qu'ils exercent à cet égard une action d'autant plus grande qu'ils ont une étendue plus considérable et une conductibilité meilleure. Par exemple, quand un vaisseau est foudroyé au milieu de la mer, il est très-probable que la foudre n'a pas pris le chemin qui aurait été géométriquement le plus court pour arriver à l'eau qu'elle cherche et où elle doit être neutralisée par le fluide contraire, mais qu'elle a choisi le chemin qui était électriquement le plus court à raison des décompositions par influence que le nuage avait probablement produites sur les mâts, les agrès et autres corps conducteurs du bâtiment, plus ou moins haut placés et plus ou moins conducteurs.

3. Un paratonnerre est un bon conducteur, non interrompu, dont l'extrémité inférieure communique largement avec la nappe souterraine, tandis que son extrémité supérieure s'élève assez haut pour dominer l'édifice qu'il s'agit de protéger.

Une décharge de nos batteries électriques peut fondre plusieurs mètres de longueur d'un fil de fer un peu fin.

Une explosion de la foudre peut fondre ou volatiliser plus d'une centaine de mètres de longueur des fils de sonnettes ou des fils de marteaux des horloges publiques. En 1827, sur le paquebot *le New-York*, une chaîne d'arpenteur de 40 mètres de longueur, faite avec du fil de fer de 6 millimètres de diamètre, servant de conducteur au paratonnerre du bâtiment, a été fondue par un coup de foudre et dispersée en fragments incandescents.

Il n'y a pas d'exemple que la foudre ait pu seulement échauffer et porter au rouge sombre une barre de fer carrée de quelques mètres de longueur et de 15 millimètres de côté, ou de 225 millimètres carrés de section.

C'est donc du fer carré de 15 millimètres de côté que l'on adopte pour composer le conducteur des paratonnerres.

On n'est aucunement obligé d'aller chercher la nappe souterraine dans la verticale ou près de la verticale de l'édifice que l'on veut protéger. Un paratonnerre n'est pas moins efficace quand son conducteur est sur une grande partie de sa longueur en lignes courbes, horizontales ou inclinées. La condition essentielle, mais absolument essentielle, est qu'il arrive à la nappe souterraine, et qu'il communique largement avec elle, dût-il aller la chercher à plusieurs kilomètres de distance.

4. Supposons un paratonnerre établi dans ces conditions, et examinons d'une manière générale les phénomènes qui vont se produire pendant les orages.

L'électricité développée par influence dans la nappe souterraine, au lieu de s'y accumuler, comme nous venons de le dire, trouve le pied du conducteur qui est une issue où elle se précipite; car, dans l'intérieur même d'une barre métallique pleine et solide, quelque longue qu'elle puisse être, le fluide électrique se répand et se propage avec une vitesse comparable à la vitesse de la lumière. C'est ainsi que le fluide attiré par le nuage dans la nappe souterraine vient subitement s'accumuler vers le sommet du paratonnerre.

Là se produisent des phénomènes curieux dont il faut donner une idée.

Si le paratonnerre se termine par une pointe fine et très-aiguë d'or ou de platine, le fluide attiré par le nuage exerce contre l'air, qui est mauvais conducteur, une pression assez grande pour s'échapper en produisant une aigrette lumineuse visible dans les ténèbres. Les rayons divergents de cette aigrette diminuent d'éclat à mesure qu'ils s'éloignent de la pointe; ils sont rarement visibles sur une longueur de 15 ou 20 centimètres. L'air en est vivement électrisé, et l'on ne peut guère douter que ces molécules d'air chargées du fluide de la pointe, c'est-à-dire du fluide attiré, ne soient ensuite transportées jusqu'au nuage lui-même, si l'air est calme, pour neutraliser une portion plus ou moins sensible du fluide dont il est chargé.

Cette neutralisation est ce que l'on appelle l'action préventive du paratonnerre.

En même temps que la pointe aiguë donne naissance à l'aigrette, le flux d'électricité qui passe acquiert souvent une telle intensité, que la pointe s'échauffe jusqu'à la fusion; dans ce cas l'or, et le platine lui-même, quoique beaucoup moins fusible, tombent en gouttes volumineuses le long du cuivre ou du fer qui les porte.

Lorsqu'un paratonnerre a ainsi perdu sa pointe aiguë et que son sommet n'est plus qu'un large bouton de fusion d'or ou de platine, on doit se demander s'il est ou s'il n'est pas hors de service.

A cette question nous répondons : non, le paratonnerre n'est pas hors de service, pourvu qu'il continue d'ailleurs à remplir les deux conditions essentielles, savoir :

1° Que le conducteur soit sans lacunes;

2° Que par son extrémité inférieure il communique largement avec la nappe souterraine.

Seulement, en perdant sa pointe, le paratonnerre a perdu quelque chose de son action préventive. L'aigrette ne pourrait se reproduire que sous l'influence d'une attraction beaucoup plus forte; et la fusion, qui dépendait surtout de la finesse et de l'acuité de la pointe, ne pourrait se renouveler que très-difficilement en laissant d'ailleurs les choses à peu près dans le même état. L'air n'est donc plus électrisé par l'aigrette sous forme lumineuse, cette part de l'action préventive a disparu; l'autre part, celle qui peut dépendre de l'air électrisé par son contact avec toutes les portions supérieures de la tige, est probablement beaucoup plus petite.

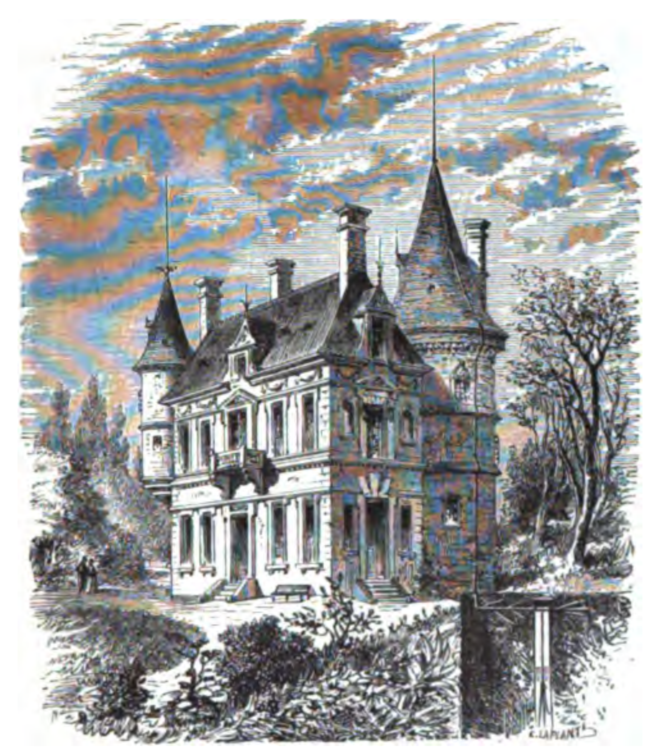


Fig. 222. — Paratonnerre.

Au reste, s'il est vrai que le vent emporte bien loin du nuage l'air électrisé par l'aigrette aussi bien que l'air électrisé par la tige, l'action préventive est si souvent réduite à rien, qu'il n'y a pas lieu de la regretter beaucoup.

La conclusion est donc, qu'en perdant sa pointe aiguë, un paratonnerre ne perd en réalité qu'un très-faible avantage.

C'est par ces motifs que la Commission de 1855 a été conduite à conseiller de terminer le haut du paratonnerre par un cylindre de cuivre rouge de 2 centimètres de diamètre sur 20 à 25 centimètres de longueur totale, dont le sommet est aminci pour former un cône de 3 ou 4 centimètres de hauteur.

Le cône de cuivre pourra donner encore quelquefois le spectacle des aigrettes, mais bien moins souvent que les pointes aiguës d'or ou de platine; même dans ce

cas, il résiste à la fusion, à raison de sa forme et surtout à raison de sa grande conductibilité tant électrique que calorifique.

Si la foudre vient à éclater, c'est par le cône de cuivre qu'elle pénètre dans la tige et le conducteur, et c'est par la tige et le conducteur qu'elle va se neutraliser dans la nappe souterraine.

C'est un coup de foudre ordinaire, seulement il est sans dommage pour le paratonnerre et pour l'édifice qu'il protége; il ressemble ainsi aux coups de foudre innombrables qui pendant les orages s'éteignent au milieu de l'Atmosphère.

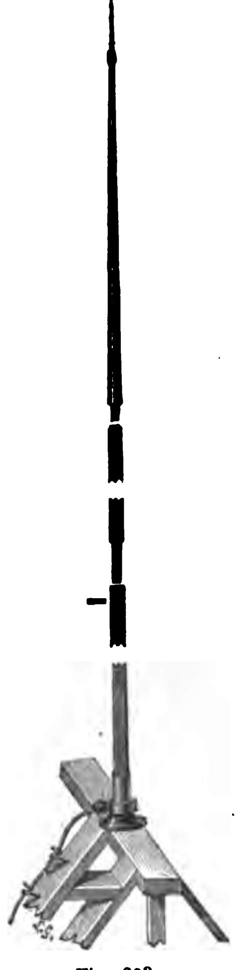


Fig. 223.
Tige du paratonnerre et son conducteur.

II. — CONSTRUCTION.

5. *Tige.* — La tige de fer du paratonnerre est prolongée en haut, comme nous venons de le dire, par un cylindre de cuivre rouge terminé en cône; à ce point de jonction, elle a été arrondie et réduite à 2 centimètres de diamètre; plus bas, elle reste carrée et va en augmentant d'épaisseur régulièrement, jusqu'au point d'insertion du conducteur, où elle doit avoir 4 ou 5 centimètres de côté. Sa hauteur totale, entre le sommet du cône et ce dernier point, peut varier de 3 à 5 mètres suivant les circonstances. Il y a presque toujours plus d'avantage à augmenter le nombre des tiges, en les maintenant entre ces limites, et en les reliant entre elles par un conducteur commun pour les rendre solidaires, qu'à en réduire le nombre en leur donnant des hauteurs de 7 ou 8 mètres.

Toute la longueur de la tige qui est au-dessous du conducteur, au-dessous du plus bas des conducteurs, si elle en porte plusieurs, ne compte plus comme paratonnerre; on peut en varier à volonté la forme et choisir celle qui convient le mieux pour la fixer très-solidement sur ses appuis.

6. *Conducteurs.* — Le conducteur est adapté à la tige par une très-bonne soudure à l'étain; cette première partie du conducteur aura 2 centimètres de côté, et sa partie arrondie, dressée et étamée d'avance, qui traverse la tige de part en part, aura 15 millimètres de diamètre; ainsi les deux surfaces du fer, métalliquement unies par la soudure, auront près de 20 centimètres carrés.

Les courbures toujours arrondies qu'il faudra donner au conducteur, soit pour descendre au sol, soit pour s'étendre sur le sol jusqu'à la verticale de la nappe d'eau, suffiront au jeu des dilatations.

Comme il importe que ces soudures ne soient pas fatiguées par des flexions ou par des tractions obliques, on aura soin d'établir dans leur voisinage des supports de fer à fourchettes qui permettent le glissement longitudinal en empêchant tout ballottement latéral. Ces supports ne doivent pas être des isoloirs électriques.

7. *Communication avec la nappe d'eau.* — La nappe souterraine est, comme nous avons dit, celle des pluies du voisinage qui ne tarissent jamais et qui conservent

au moins 50 centimètres de hauteur d'eau dans les saisons les plus défavorables.

Le puits du paratonnerre sera construit comme un puits ordinaire; il doit être restreint à ce service spécial et ne recevoir aucune eau de fosse ou d'égout.

Si les circonstances l'exigeaient, le puits ordinaire pourrait être remplacé par un forage de 20 à 25 centimètres de diamètre, tubé avec soin contre les éboulements.

La portion du conducteur qui descend dans le puits sera faite avec du fer de 2 centimètres de côté; son extrémité inférieure portera quatre racines d'environ 60 centimètres de longueur; un épais nœud de soudure enveloppe tout cet ajustement. Ces racines pourraient être remplacées par une hélice de cinq ou six tours, formée en contournant en tire-bouchon l'extrémité inférieure du conducteur lui-même.

La partie supérieure du conducteur vertical sera soutenue à l'entrée du puits, soit par une cheville assez forte posée sur deux barres parallèles, soit par d'autres moyens analogues; on donnera à ces supports une hauteur telle, que les racines et, au besoin, le nœud de soudure plongent dans l'eau; mais il importe que ce poids considérable ne porte pas sur les vases du fond du puits où s'enfonceraient les racines.

On se ménagera les moyens de constater aisément la profondeur de l'eau du puits dans les diverses saisons de l'année, même quand on connaîtrait le mouvement de ces variations de niveau dans les puits voisins.

Enfin, de loin en loin, il sera nécessaire de reconnaître l'état du fer immergé, car il y a certaines eaux qui pourraient peut-être le corroyer trop profondément dans une période de quatre ou cinq années. Il faudra donc défaire la dernière des soudures qui se trouve hors du puits et avoir préparé les moyens mécaniques convenables pour enlever le conducteur et amener au jour son extrémité inférieure.

A cette instruction officielle sur la construction des paratonnerres, publiée en 1867 par l'Académie des sciences, nous n'avons qu'une remarque à ajouter : c'est que ceux qui ne rempliraient pas toutes les conditions requises seraient plus dangereux qu'utiles. Pour n'en citer qu'un exemple, en 1867, un orage éclata à Fécamp, le tonnerre tomba sur plusieurs maisons dépourvues de protection (ce qui n'étonna personne) ; mais, chose plus étrange, il n'épargna même pas le phare, qui fut entièrement ravagé, bien qu'il fût surmonté d'un paratonnerre. Celui-ci, visité immédiatement, témoigna bien qu'*il remplissait toutes les conditions réglementaires*. Mais le phare est édifié sur une falaise profondément calcaire, et l'extrémité inférieure du paratonnerre plongeait dans une citerne creusée au sein de ce sol crayeux. Dès lors le mystère était découvert.

En effet, le conducteur doit communiquer avec de vastes nappes d'eau ayant une étendue beaucoup plus grande que celle des nuages orageux; l'eau elle-même deviendrait foudroyante, si elle n'avait pas un écoulement suffisant. Il est dangereux d'enterrer le conducteur dans le sol humide : 1° parce que trop souvent on s'inquiète peu de savoir si cette couche humide est assez étendue;

2° parce qu'on ne s'enquiert pas davantage de reconnaître si cette terre conserve une humidité suffisante aux temps de grandes sécheresses, c'est-à-dire au moment où les orages sont le plus à craindre. A défaut de rivière ou de vastes étangs, il faut mettre les conducteurs des paratonnerres en communication par de larges surfaces avec des nappes d'eau souterraines intarissables.

Un bon paratonnerre est un utile préservatif. Je rappellerai à cette occasion que, dans sa statistique des coups de foudre qui ont frappé des paratonnerres ou des édifices et des navires armés de ces appareils, Quételet a mentionné cent soixante-huit cas de paratonnerres foudroyés, parmi lesquels il ne s'en trouve que vingt-sept, c'est-à-dire environ un sixième, où les paratonnerres, par suite de graves imperfections constatées dans leur construction, n'ont point complétement préservé les édifices ou les navires qui les portaient. Ce résultat est des plus concluants en faveur de l'efficacité des paratonnerres, et il est, sans aucun doute, la meilleure réponse qu'on puisse faire aux objections mises en avant contre l'emploi des appareils dont il s'agit.

Aucune peinture ne compromet les fonctions électriques d'un paratonnerre, à l'exception de la portion immergée du conducteur.

Depuis quelques années, on a l'habitude de diviser le conducteur, à son arrivée dans le sol, en deux branches, l'une verticale qui descend jusque dans la couche aquifère, l'autre qui s'étend horizontalement et se ramifie à une très-petite distance du sol. Lorsque la couche supérieure du sol est mouillée, la branche horizontale fonctionne inévitablement et met ainsi à l'abri des irrégularités de construction que peut présenter la branche verticale.

Enfin, remarquons encore que le cercle de protection du paratonnerre n'est pas aussi étendu qu'on serait porté à le croire. Il ne s'étend pas à une distance de trois ou quatre fois la hauteur de la tige au-dessus du toit; ainsi un paratonnerre de 5 mètres ne protége pas à plus de 15 ou 20 mètres de son point d'attache. L'effet dépend d'ailleurs de la nature du terrain et des matériaux qui entrent dans la construction de l'édifice. Les grands édifices en demandent plusieurs pour être efficacement protégés, comme on l'a fait à Paris en terminant la réunion du Louvre aux Tuileries. Le métrage de l'immense palais lui attribue une longueur totale de 3 kilomètres et une surface de 18 hectares. On avait pris toutes les précautions imaginables pour le préserver du feu du ciel : on n'avait pas songé au feu de l'enfer humain.

CHAPITRE VII.

LES AURORES BORÉALES.

Nous sommes arrivés au complément le plus curieux, le plus grandiose des diverses manifestations de l'électricité dans l'Atmosphère. Nous l'avons vu, le globe terrestre est un immense réservoir de ce subtil fluide, qui existe dans tous les mondes de notre système, et dont le foyer rayonne dans le Soleil lui-même. Comme l'attraction, comme la lumière, comme la chaleur, l'électricité est une force générale de la nature. Ses palpitations entretiennent la vie des mondes ; et sur notre planète elle-même, des courants circulent constamment de l'équateur aux pôles, des pôles à l'équateur.

L'aiguille aimantée, la boussole, nous montre de son doigt délicat cette circulation perpétuelle dirigée vers le nord. Elle oscille et s'agite lorsque des perturbations dérangent l'écoulement normal du fluide. Elle s'affole lorsque parfois ces perturbations deviennent violentes et troublent profondément l'équilibre. La foudre qui tombe sur un navire influence souvent pour toujours le caractère de la boussole, et tandis qu'on prend le nord qu'elle indique pour point de repère, on est tout surpris d'aller se jeter sur des écueils ou vers des côtes inhospitalières. Si une forte aurore boréale illumine le ciel de Stockholm ou de Reikiawik, la boussole de l'Observatoire de Paris se trouble à des centaines de lieues de distance, semble se demander ce qui arrive, et invite le rédacteur du *Bulletin international* à faire attention à ce qui se passe à ce moment-là dans le nord.

L'aurore boréale est un écoulement en grand de l'électricité atmosphérique. Au lieu d'un orage borné à quelques lieues et

gémissant de fureur et de colère, c'est une douce et lente recomposition du fluide négatif du sol avec le fluide positif de l'atmosphère, qui s'accomplit dans les hauteurs aériennes, dans l'atmosphère supérieure hydrogénée dont nous avons parlé dès le commencement de cet ouvrage.

Cet écoulement de l'électricité en vaste nappe fluide n'est visible que pendant la nuit, et revêt toutes les formes imaginables, selon la manière même dont il s'accomplit, et selon la perspective causée par la distance de l'observateur. Tantôt l'œil étonné saisit à peine des ondoiements rapides, blancs et roses, parcourant le ciel comme un frémissement. Tantôt c'est une draperie de moire d'or et de pourpre qui semble tomber des célestes hauteurs. Tantôt c'est une rosée de feu accompagnée d'un étrange bruissement. Tantôt encore, ce sont des gerbes de zones enflammées, s'élançant du nord dans les différentes directions du compas. C'est surtout vers les cercles polaires, où les orages sont si rares, que ces manifestations de l'électricité terrestre déploient leur douce splendeur.

Michelet, qui sent si exactement et décrit si originalement les grands phénomènes de la nature, nous présente comme il suit l'œuvre des aurores boréales :

Le pôle semble un royaume de la mort. Mais la vie générale y triomphe au contraire. Les deux âmes du globe, magnétique, électrique, chaque nuit font leur fête dans ce désert. Leur aurore boréale est sa consolation sublime.

Les courants aériens, les courants de la mer, en sont les véhicules. Les deux torrents d'eaux chaudes qui, de Java, de Cuba, s'en vont au nord se faire refroidir et glacer, qui, revivant ensuite, retournent incessamment au cœur qui les lança, aident à la correspondance magnétique, électrique, de l'équateur au pôle. Leurs orages sont solidaires. L'été, quand la fonte polaire, quand les courants du nord nous viennent, rafraîchissent la terre, l'élément magnétique semble aller au-devant de l'électricité centrale : de là ces violents orages, surtout près de ce centre, ces éclats de tonnerre, effrayants à nos sens troublés.

Tout au contraire, au pôle la foudre ne s'entend presque jamais. Dans cette nuit profonde d'hiver, tout semble assoupi. Et quel ciel cependant contient plus d'orages ! Presque chaque soir, vers dix heures, il éclate dans sa puissance. La terre, les neiges, les glaciers en sont subitement illuminés. Leurs arêtes vives, l'atmosphère remplie de particules glacées, en brisent, en renvoient les rayons palpitants.

Rien de plus solennel. La terre entière assiste, on peut le dire; elle est spectateur et acteur. La veille, ou plusieurs heures d'avance, sa préoccupation est partout constatée par l'aiguille aimantée.

Mais voilà que dans l'arc majestueux d'un jaune pâle, dans sa paisible ascension, éclate comme une effervescence. Il se double, se triple, on en voit souvent jusqu'à neuf. Ils ondulent ! Un flux et reflux de lumière les promène comme une draperie d'or qui va, vient, se plie, se replie.

Est-ce tout? Le spectacle s'anime. De longues colonnes lumineuses, des jets, des rayons sont dardés, impétueux, rapides, changeant du jaune au pourpre, du rouge à l'émeraude.

Quelle en sera l'issue? La terre est inquiète. Qui vaincra, qui l'emportera de ces lumières vivantes? Les pôles se le sont demandé.

Il est onze heures du soir. Voici le grand moment. Le combat s'harmonise. Les lumières ont lutté assez. Elles s'entendent, se pacifient et s'aiment. Elles montent ensemble dans la gloire. Elles se transfigurent en sublime éventail, en coupole de feu, sont comme la couronne d'un divin hyménée.

A l'âme terrestre, magnétique, reine du nord, l'autre s'est mêlée, l'électrique, la vie de l'équateur. Elles s'embrassent, et c'est la même âme....

Le Spitzberg est une région favorite pour les aurores boréales. Dans son voyage scientifique de 1839, M. Ch. Martins en a observé et analysé patiemment un grand nombre, qu'il décrit sous les formes suivantes (voy. *le Tour du monde*, 1865, t. II, p. 10) :

Tantôt ce sont de simples lueurs diffuses ou des plaques lumineuses, tantôt des rayons frémissants d'une éclatante blancheur, qui parcourent tout le firmament, en partant de l'horizon comme si un pinceau invisible se promenait sur la voûte céleste; quelquefois il s'arrête; les rayons inachevés n'atteignent pas le zénith, mais l'aurore se continue sur un autre point; un bouquet de rayons s'élance, s'élargit en éventail, puis pâlit et s'éteint. D'autres fois de longues draperies dorées flottent au-dessus de la tête du spectateur, se replient sur elles-mêmes de mille manières et ondulent comme si le vent les agitait. En apparence elles semblent peu élevées dans l'Atmosphère, et l'on s'étonne de ne pas entendre le frôlement des replis qui glissent l'un sur l'autre. Le plus souvent un arc lumineux se dessine vers le nord ; un segment noir les sépare de l'horizon et contraste par sa couleur foncée avec l'arc d'un blanc éclatant ou d'un rouge brillant qui lance les rayons,

s'étend, se divise et représente bientôt un éventail lumineux qui remplit le ciel boréal, monte peu à peu vers le zénith, où les rayons en se réunissant forment une couronne qui, à son tour, darde des jets lumineux dans tous les sens. Alors le ciel semble une coupole de feu; le bleu, le vert, le jaune, le rouge, le blanc se jouent dans les rayons palpitants de l'aurore. Mais ce brillant spectacle dure peu d'instants; la couronne cesse d'abord de lancer des jets



Fig. 224. — Aurore boréale sur la mer polaire.

lumineux, puis s'affaiblit peu à peu; une lueur diffuse remplit la ciel; çà et là quelques plaques lumineuses semblables à de légers nuages s'étendent et se resserrent avec une incroyable rapidité comme un cœur qui palpite. Bientôt ils pâlissent à leur tour, tout se confond et s'efface, l'aurore semble être à son agonie; les étoiles, que sa lumière avait obscurcies, brillent d'un nouvel éclat, et la longue nuit polaire, sombre et profonde, règne de nouveau en souveraine sur les solitudes glacées de la terre et de l'océan. Devant

de tels phénomènes, le poëte, l'artiste s'inclinent et avouent leur impuissance, le savant seul ne désespère pas ; après avoir admiré ce spectacle, il l'étudie, l'analyse, le compare, le discute, et il arrive à prouver que ces aurores sont dues aux radiations électriques des pôles de la terre, aimant colossal dont le pôle boréal se trouve dans le nord de l'Amérique septentrionale, non loin du pôle du froid de notre hémisphère, tandis que son pôle austral est en mer au sud de l'Australie, près de la terre Victoria.

Quelques indications suffiront pour prouver la nature électromagnétique de l'aurore boréale. Au Spitzberg, une aiguille aimantée suspendue horizontalement à un fil de soie non tordu est tournée vers l'ouest ; dès le début de l'aurore, le physicien qui observe cette aiguille s'aperçoit qu'au lieu d'être sensiblement immobile, elle semble en proie à une inquiétude inusitée et se déplace rapidement à droite et à gauche et de gauche à droite. A mesure que l'aurore devient plus brillante, l'agitation de l'aiguille augmente, et sans sortir de son cabinet l'observateur juge de l'intensité de l'aurore boréale par l'amplitude du déplacement de l'aiguille ; enfin quand la couronne boréale se forme, son centre se trouve précisément sur le prolongement d'une aiguille magnétique librement suspendue sur une chape et orientée dans le sens du méridien magnétique ; elle n'est point horizontale, mais inclinée vers le pôle magnétique et se nomme aiguille d'inclinaison. Les aurores boréales sont donc intimement unies aux phénomènes magnétiques du globe terrestre. M. Auguste de la Rive en a réalisé expérimentalement les principaux phénomènes sur une boule de bois représentant le globe terrestre et convenablement électrisée.

Quel étrange monde que celui des pôles ! Presque toutes les nuits sont éclairées par ces lueurs électriques plus ou moins brillantes ; à partir du milieu de janvier, on voit à midi un crépuscule d'une heure ; l'aurore, annonçant le retour du soleil, s'agrandit en montant vers le zénith ; enfin le 16 février un segment du disque solaire, semblable à un point lumineux, brille un moment, pour s'éteindre aussitôt ; mais, à chaque midi, le segment augmente, jusqu'à ce que l'orbe tout entier s'élève au-dessus de la mer : c'est la fin de la longue nuit d'hiver. Alors, le jour et la nuit se succèdent pendant soixante-cinq jours, jusqu'au 21 avril, commencement d'un jour de quatre mois, pendant lesquels le soleil tourne au-dessus de l'horizon, s'abaissant de plus en plus, et finit par disparaître.

Dans l'Amérique septentrionale, à l'est du détroit de Behring,

il y a un grand territoire, peu connu des Français : le pays de l'*Alaska*, traversé par le cercle arctique. C'était, il y a quelques années, l'Amérique russe, et elle ne mesure pas moins de quarante-cinq mille lieues carrées ; les États-Unis l'ont acheté le 18 octobre 1867. Dans une relation curieuse d'un voyage que Frédé-

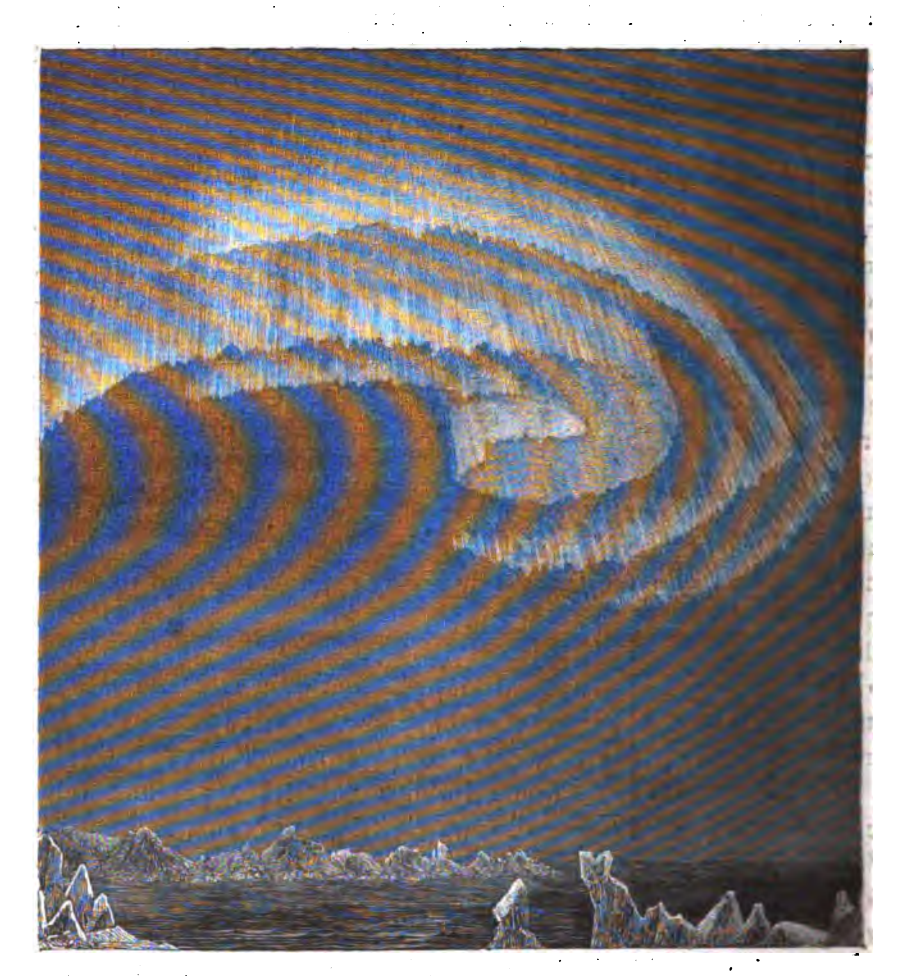


Fig. 225. — Aurore boréale observée à Bossekop (Spitzberg), le 6 janvier 1839.

rick Whymper y fit en 1865 (voy. *le Tour du monde*, 1869, t. II, p. 247), je trouve l'observation rare d'une aurore boréale en forme de ruban, déployé en ondoiements dans les hauteurs aériennes.

C'était le 27 décembre, écrit le voyageur lui-même. Au moment où nous sommes sur le point de nous coucher, on nous annonce une aurore boréale dans la direction de l'ouest. Cette nouvelle chasse



Fig. 226. — Aurore boréale observée à Bossekop (Spitzberg), le 21 janvier 1839.

le sommeil ; nous grimpons en toute hâte sur le toit le plus élevé du bâtiment du fort pour contempler le splendide phénomène. Ce n'est pas l'arc si souvent décrit, mais un serpent de lumière souple, ondoyant, variant sans cesse de forme et de couleur : tantôt il a la teinte pâle et douce des rayons de la lune ; tantôt de longues bandes bleues, roses, violettes, se roulent sur ce fond argenté ; les scintillations vont de bas en haut, et mêlent leur clarté à celle des étoiles brillantes, qu'on aperçoit à travers la vaporeuse spirale.

Parfois l'aurore boréale revêt la forme d'une coupole d'où tombent des pendentifs de pluie lumineuse, impalpable. Au moment de terminer son voyage en Islande, le 21 août 1866, M. Noël Nougaret en observa de fort intéressantes de cette figure.

Après avoir donné notre grand bal sur *la Pandore*, dit-il, nous appareillâmes pour le départ, et nos bons amis d'Islande répétaient en voyant partir *la Pandore* : « Voilà le soleil de l'Islande qui s'en va ! » En effet, la frégate française arrive avec la belle saison, avec le soleil, elle s'en va dès qu'on aperçoit la première étoile, qui est comme le signal de la première aurore boréale. A partir de ce moment, on a ordinairement deux aurores par nuit : la première à onze heures jusqu'à onze heures trois quarts. La seconde, plus brillante que la première, paraît à minuit et éclaire le ciel et la mer pendant de longues heures. Quand l'aurore va se former, on aperçoit comme un nuage noir à l'horizon, dans la direction du nord-nord-est ; les bords du nuage s'éclairent, puis, tout d'un coup, du fond de cette cuvette noire part une fusée rapide, qui est immédiatement suivie de plusieurs autres. Ces fusées laissent dans le ciel une traînée lumineuse ; peu à peu elles arrivent jusqu'au zénith et finissent par s'étendre sur la totalité de la voûte céleste. L'aurore est alors dans tout son éclat ; du ciel se détachent de longues franges qui descendent mollement et que l'observateur croit pouvoir saisir avec ses doigts. Une blanche clarté envahit tout le ciel et la mer. C'est dans ce milieu magique qu'il fallait voir la belle *Pandore* au moment où elle s'éloignait des côtes d'Islande. Sa gracieuse mâture, ses vergues élancées et chargées de lumière, se découpaient franchement sur cette sorte d'auréole qu'on eût dit ménagée pour l'heure des adieux, et je passai toute la nuit sur la dunette à contempler cet imposant météore, éclairé par cette « lumière du nord », comme ils l'appellent dans leur langage pittoresque, et qui doit être désormais leur unique soleil.

Les aurores boréales sont assez rares en France, et la vie entière peut se passer sans qu'on ait eu le plaisir d'en admirer une

seule, un peu complète. Nous venons d'être gratifiés à Paris de trois de ces phénomènes, avec un déploiement d'intensité bien remarquable, les 15 avril et 13 mai 1869, et le 24 octobre 1870.

Celle du 15 avril, que je n'ai pas observée moi-même, l'a été par mes amis, MM. Silbermann au Collége de France, Chapelas-Coulvier-Gravier au Luxembourg, et Tremeschini à Belleville. Elle fut double, en quelque sorte. Le premier acte se montra à huit heures dix minutes sous la forme d'un large faisceau de colonnes lumineuses, rougeâtres, dirigées des gardes de la Grande-Ourse vers l'est, comme un éventail. Le fond du ciel sur cette région était également coloré d'une lumière rougeâtre. L'apparition ne dura que quelques minutes. Le second acte se joua à dix heures et demie. Des rayons partirent d'un petit arc lumineux situé au nord. Ces rayons, d'une couleur verdâtre très-prononcée à la base nférieure, présentaient au contraire à leur extrémité supérieure une nuance pourpre magnifique. Puis, à certains moments, le phénomène changeait subitement d'aspect: la lumière s'agglomérait sur plusieurs points, formant des amas ou plaques très-denses, très-brillantes, blanches au centre de l'aurore, rouges sang à la circonférence. Un nombre infini de stries lumineuses, presque parallèles entre elles, parcouraient la bande dans la direction du méridien magnétique. Le phénomène dura une demi-heure, avec des variations d'intensité.

Celle du 13 mai a été plus remarquable et plus remarquée. Je l'ai observée attentivement, et voici la description que j'en ai donnée dans le *Siècle* du lendemain :

Grande aurore boréale sur Paris. — Hier soir jeudi 13 mai, une magnifique aurore boréale s'est déployée sur le ciel de Paris.

Tandis qu'un grand tumulte régnait dans les quartiers et que des milliers de voix grondaient sourdement comme la tempête aux abords des réunions électorales, des flammes immenses partant du nord rayonnaient dans le ciel étoilé.

En certaines rues dirigées du sud-est au nord-ouest on voyait, occupant le ciel dans cette dernière région, une lueur rouge sombre donnant l'impression de la réverbération d'un lointain incendie.

Sur un horizon découvert le spectacle était spendide.

A onze heures, une immense gerbe de rayonnements lumineux s'élevait d'un segment obscur, montant verticalement dans le nord, dépassant l'étoile polaire et la Petite-Ourse, et portant jusqu'au zénith sa lueur jaune-orange.

Une autre gerbe s'élevait, obliquement, à gauche, du même pied que celle-ci, et, comme un immense et large jet de rosée lumineuse, allait éteindre les étoiles de la Grande-Ourse, dont les deux dernières, Zêta et Êta, venaient de passer à leur point culminant et étaient voisines du zénith. Delta surtout resta longtemps éclipsé par cet immense rayonnement à l'aspect cométaire.

Un troisième faisceau de lumière, obliquant à droite, traversait la voie lactée, passait entre alpha de Céphée et alpha du Cygne, et s'étendait jusqu'à la tête du Dra-



Fig. 227. — Aurore boréale observée dans l'Alaska, le 27 décembre 1865.

gon, laissant la brillante étoile de première grandeur Véga rayonner plus à droite dans les hauteurs de l'est.

A ces trois faisceaux principaux s'en sont joints ou substitués d'autres pendant les différentes phases du phénomène : l'un entre autres vers le centre et un peu à droite de la verticale abaissée de l'étoile polaire sur l'horizon ; l'autre, qui ne parut qu'à 11 h. 20 m., et s'éleva à l'ouest, à gauche de la Grande Ourse et dans la direction d'Arcturus.

L'immense colonne du centre-nord, qui éclipsa complétement l'étoile polaire dans ses variations lumineuses, transforma insensiblement sa lumière, d'abord jaune-orange, et apparut à 11 h. 5 m. avec la teinte du rouge sang, comme les lueurs nébuleuses du feu de Bengale.

Dans le même temps, la colonne oblique de droite, qui d'abord n'avait que l'intensité d'un faisceau de lumière électrique projeté dans l'air, s'accentua dans une clarté plus vive, et brilla comme un long cylindre de lumière verte, pâle, et cependant assez intense pour éclipser les étoiles de Cassiopée, alors posées au-dessus de l'horizon comme un W gigantesque, et la belle étoile alpha du Cygne.

En dessinant cette aurore boréale, j'ai observé que les traînées lumineuses variaient d'intensité et de position aussi bien que de couleur.

C'est pour la première fois que j'observe une aurore boréale, phénomène si rare du reste à la latitude de Paris. Parfois, sans doute, on voit le ciel empourpré de lueurs diverses ; mais ces lueurs peuvent dépendre de la réflexion de l'intense illumination nocturne de Paris par une atmosphère plus ou moins chargée, de la clarté de la lune et de certains aspects de phosphorescence dans les nuages eux-mêmes. Hier nulle illusion n'était possible. Le ciel était pur et magnifiquement étoilé, la lune absente, et, comme suspendus dans l'espace, on voyait ces immenses jets de lumière variable projetant leur éventail sous les étoiles.

Dans cette première impression, dis-je, je n'ai pu m'empêcher de voir dans ces longues lueurs isolées, et suspendues en apparence dans le vide, des effluves électriques filant en quelque sorte des régions lointaines de l'Atmosphère, variant d'intensité lumineuse suivant l'énergie du courant générateur, représentant pour ainsi dire des *éclairs lents*, vastes, d'une durée de plusieurs minutes, immobiles en apparence dans leur étendue, et se métamorphosant sous l'action de forces inconnues.

A la hauteur de 20 degrés environ au-dessus de l'horizon, un segment obscur était formé par des nuages noirs, minces, étendus horizontalement, cachant l'origine des gerbes lumineuses, lesquelles du reste étaient moins intenses en bas qu'à leur hauteur moyenne. Ces nuées noires n'étaient pas très-épaisses, car je n'ai pas tardé à distinguer parfaitement Cassiopée, en partie voilée par elles, et la rayonnante étoile Capella, si peu élevée au-dessus de l'horizon.

Quelques étoiles filantes ont signalé cette période. Un bolide est parti du voisinage du zénith à 11 h. 35 m. pour s'éteindre en arrivant à la hauteur de la Grande-Ourse. Un autre a semblé tomber de Véga à 11 h. 45 m.

Le ciel avait été couvert pendant la journée ; le soir le vent soufflait du nord avec intensité, et l'atmosphère était sensiblement refroidie.

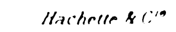
J'avais été singulièrement frappé par cette aurore, puisque c'était la première fois que j'étais témoin de ce curieux phénomène. Cependant j'ai trouvé celle du 24 octobre 1870 bien plus remarquable, bien plus magnifique encore.

On sait que, pendant le siége de Paris, les astronomes étaient transformés en officiers du génie, et que M. Laussedat avait eu

l'ingénieuse idée d'installer des lunettes astronomiques sur tout le périmètre des fortifications pour observer les mouvements de l'ennemi, et surtout détruire leurs batteries à mesure qu'elles étaient faites. J'habitai le secteur de Passy pendant ce mémorable hiver, et le soir de l'aurore, ayant remarqué à six heures et demie une lueur rouge très-singulière et persistante sur Cassiopée, je devinai l'imminence d'une aurore boréale et jugeai utile de me rendre sur un point entièrement découvert : au Trocadéro. Il n'y avait pas une âme quand j'y arrivai, et un vent du nord glacial n'invitait guère à s'y arrêter. La lueur rouge persistait toujours. Bientôt une vague lumière blanche éclaira le nord, à l'exception d'un segment obscur appuyé à l'horizon. Ce fait me confirma dans mes prévisions. Cependant je dus attendre une demi-heure avant de voir apparaître la manifestation électrique.

Elle commença à sept heures trente minutes par un accroissement de la lumière blanche, assez intense pour éclipser les deux étoiles les plus basses de la Grande-Ourse, bêta et gamma. Les cinq autres restaient visibles malgré la lumière : c'était un vaste foyer lumineux occupant le quart du ciel. La nuée rougeâtre, ayant un peu changé de place, était alors sur Andromède. Tout à coup, à sept heures quarante minutes, de larges jets de lumière rouge ondoyante s'élancent jusqu'au zénith, s'effaçant ensuite comme des traînées de feux de Bengale. Puis une admirable manifestation se produit. A environ 50 degrés au-dessus de l'horizon, et sur un tiers du ciel, avec plus de 20 degrés de large, une *draperie de moire rouge lumineuse* se déroule avec des ondulations dorées (un peu vertes par contraste) et reste calme dans le ciel silencieux, pendant une minute entière. Ses plis semblent ensuite ondoyer et se fondre. Dans le centre de l'aurore s'ouvre un foyer de lumière profonde, comme un fuseau dirigé au zénith, lumière blanche qui se dissémine à ses bords comme une rosée d'argent. Quelque temps après, un immense jet rouge part de la gauche et s'élève presque jusqu'au zénith. Les hauteurs du ciel restèrent dès lors illuminées jusqu'après huit heures, comme par l'incendie d'un immense feu de Bengale.

Cette aurore, on le voit, différait beaucoup de la précédente. La première était surtout formée de jets lumineux, droits, lancés du nord ; celle-ci fut surtout remarquable par la forme de draperie qu'elle déploya dans le ciel, et par la vague lumière qu'elle laissa dans les hauteurs. Elle faisait, dirai-je, plus d'impression ; elle fut beaucoup plus belle.



A. Marie, Pinx^t   Eug. Cicéri, Chromolith

AURORE BORÉALE OBSERVÉE A PARIS LE 13 MAI 1869.

Imp. Lemercier & Cie Paris

Des milliers de personnes l'ont remarquée, à cause des circonstances surtout. Le Trocadéro, désert à sept heures, était couvert à huit heures d'une multitude compacte, et j'ajouterai même que force me fut de faire une petite conférence en plein air, les avis ayant été partagés dès l'abord, si c'était un incendie ou la lumière électrique du Mont-Valérien. Les gardes nationaux en faction sur les remparts eurent cette soirée-là un spectacle dont ils se souviendront longtemps. Le ciel, qui ne s'occupe plus de nos querelles, offrait le même spectacle à l'armée prussienne, qui autrefois y aurait remarqué le doigt de Dieu lui ordonnant de rentrer au nord.

Le lendemain, l'aurore boréale du siége de Paris jetait ses derniers feux vers six heures du soir, avec moins d'intensité et à travers un ciel nuageux.

Les aurores boréales se passent à toutes les hauteurs. D'après les mesures de Bravais, leur élévation ordinaire serait comprise entre cent et deux cents kilomètres, entre vingt-cinq et cinquante lieues de hauteur. D'après celle des Loomis, le point extrême d'où les fusées sont dardées atteindrait sept cents et huit cents kilomètres : deux cents lieues de hauteur ! Elles s'effectueraient ainsi dans l'atmosphère supérieure dont nous avons parlé au commencement de cet ouvrage. On en a mesuré toutefois qui étaient beaucoup plus basses, et descendaient à la hauteur des nuages.

Leur étendue est également très-variable. Ainsi, dans une lettre que je reçois d'Irlande, j'apprends qu'on en a remarqué une fort brillante à Cork le 11 septembre 1871, à dix heures du soir. Or rien n'a été visible à Paris. Il n'y a pourtant que deux cents lieues d'ici à Cork. Une aurore qui fut observée à Cherbourg le 19 février 1852 n'a pas été visible à Paris, quoique la distance ne soit que de trois cents kilomètres. Elle ne devait pas être, dit E. Liais, à plus de sept mille mètres de hauteur. A l'opposé, il y a des aurores qui se déploient sur une immense étendue. Celle du 3 septembre 1839 a été vue à la fois en Amérique et en Europe, comme celle du 5 janvier 1769. Celle du 2 septembre 1859 a été visible depuis New-York jusqu'en Sibérie, et *aux deux côtés de la Terre*, dans l'autre hémisphère comme dans le nôtre, au cap de Bonne-Espérance, en Australie, au Salvador, à Philadelphie, à Édimbourg ! C'est la première fois que l'on vérifia *de visu* ce que la théorie avançait, que les aurores boréales et les aurores australes se produisent en même temps dans les deux hémisphères, sous l'influence d'un même courant. Les extrémités du globe sont en rap-

port intime l'une avec l'autre par le fluide qui circule incessamment dans les airs et dans le sol. En certains moments solennels, le magnétisme augmente d'intensité et semble ranimer la vie de la planète.

La production des aurores boréales est pour Humboldt l'un des témoignages les plus frappants de la faculté que possède notre planète d'*émettre de la lumière*. « Du phénomène des aurores, dit-il, il résulte que la Terre est douée de la propriété d'émettre une lumière distincte de celle que lui envoie le Soleil. L'intensité de cette lumière surpasse un peu celle du premier quartier de la Lune. Quelquefois elle est assez forte (7 janvier 1831) pour permettre de lire sans peine des caractères imprimés. Cette lumière de la Terre, dont l'émission ne s'interrompt presque jamais vers les pôles, nous rappelle la lumière de Vénus, dont la partie non éclairée par le Soleil brille souvent d'une faible lueur phosphorescente. Peut-être d'autres planètes possèdent-elles aussi une lumière née de leur propre substance. Il y a dans notre atmosphère d'autres exemples de cette production de lumière terrestre. Tels sont les fameux brouillards secs de 1783 et de 1831, qui émettaient une lumière très-sensible pendant la nuit ; tels sont ces grands nuages brillant d'une lumière calme, sans ondulation, si souvent remarquée; telle est enfin, d'après une ingénieuse remarque d'Arago, cette lumière diffuse, qui guide nos pas au milieu des nuits d'automne ou de printemps, alors que les nuages interceptent toute lumière céleste et que la neige ne couvre point la terre. »

Remarquons encore que les aurores boréales sont soumises à une certaine périodicité. Elles étaient très-nombreuses en Belgique et dans l'Europe occidentale pendant la dernière moitié du siècle précédent. Au dix-septième siècle elles furent très-rares; au seizième elles furent très-fréquentes. Cette périodicité séculaire paraît être de 1 siècle 1/2. Il y a une variation mensuelle mieux constatée. C'est vers les équinoxes qu'elles sont le plus fréquentes. Elles paraissent sept fois plus nombreuses aux mois de mars et octobre qu'au mois de juin.

Tels sont les derniers et les plus grandioses phénomènes que nous devions contempler dans cette galerie des œuvres de l'Atmosphère.

CHAPITRE COMPLÉMENTAIRE.

HISTOIRE DE LA MÉTÉOROLOGIE. — LA PRÉVISION DU TEMPS.

LA MÉTÉOROLOGIE DANS LE PASSÉ, DANS LE PRÉSENT, DANS L'AVENIR. DIVERS ESSAIS DE PRÉDICTION DU TEMPS. — EXAMEN DES PRONOSTICS. COMPLEXITÉ DU PROBLÈME. — CONNAISSANCE DE LA MARCHE SIMULTANÉE DES PHÉNOMÈNES PAR LE TÉLÉGRAPHE ÉLECTRIQUE. — ORGANISATION DU SERVICE INTERNATIONAL DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS. — FONDATION DE L'OBSERVATOIRE MÉTÉOROLOGIQUE SPÉCIAL DE MONTSOURIS.

CONCLUSION DE L'OUVRAGE.

Nous venons de terminer, mon cher lecteur, la description de ce merveilleux ensemble météorologique qui constitue la vie et la beauté de la Terre. Nous avons vu comment le fluide atmosphérique accompagne le globe dans son cours, comment le Soleil y déploie les splendeurs de la lumière, comment il y distribue les bienfaits de la température, des saisons et des climats; nous avons vu comment naissent les vents et les tempêtes, comment la circulation aérienne s'accomplit en tout lieu, comment les nuages s'élèvent aux sommets des airs et versent la pluie sur les plaines altérées. Nous avons entendu les orages gronder sur nos têtes, et nous avons suivi la capricieuse électricité, depuis l'étincelle subtile qui s'amuse à bouleverser un ménage jusqu'aux déploiements grandioses de l'aurore boréale dans les profondeurs des cieux. Maintenant, notre esprit est meublé de notions exactes sur les grands phénomènes de la nature, sur l'état et l'entretien de la vie du globe que nous habitons, et nous ne sommes plus, au fond de cette

atmosphère, comme des aveugles-nés ou des végétaux, qui respirent sans se rendre compte de ce qui les entoure, sans savoir où ils sont, ni comment ils vivent. Au moins, le théâtre sur lequel nous sommes venus jouer un rôle plus ou moins brillant, plus ou moins utile, n'est-il plus lettre morte pour nous, et pouvons-nous apprécier suffisamment notre situation, ainsi que l'agencement des décors variés qui se succèdent autour de nous pendant notre jeu, pendant notre vie. Désormais la nature aura pour chacun de nous incomparablement plus d'intérêt, incomparablement plus de charmes. Désormais aussi, malheureusement, les hommes nous paraîtront, en général, incomparablement plus ignorants et plus nuls que nous ne le supposions jusqu'ici; car, au lieu de consacrer leurs loisirs à éclairer et développer leur intelligence, ils passent leur temps à s'envier les uns les autres, à caresser des chimères politiques, et à jouer sottement au soldat pour l'amusement de quelques princes qui les mènent comme autant de troupeaux.

Il serait intéressant maintenant pour nous de compléter ces données par un aperçu général de l'histoire de la *météorologie*, et d'apprécier la valeur de son état actuel d'organisation, afin de pouvoir la classer dans notre esprit au rang qu'elle se conquiert de jour en jour parmi les sciences exactes. C'est ce que nous allons essayer de faire aussi succinctement que possible.

Les origines de la météorologie remontent, comme celles de l'astronomie, à la plus haute antiquité. Les premiers âges durent longtemps confondre dans une même observation les phénomènes de la voûte céleste et ceux qui s'accomplissent dans l'enveloppe aérienne de la Terre; les limites du ciel et de l'Atmosphère étaient trop mal déterminées pour que l'étude des astres et celle des météores pussent être autre chose que deux parties d'un même ensemble. Les comètes, la voie lactée, étaient de sublimes météores; les feux qui traversent les hautes régions de l'air étaient des astres qui se détachaient de la voûte et tombaient. La météorologie reconnaît donc les mêmes origines que l'astronomie.

En ces temps reculés où les phénomènes de la nature échappaient à toute explication physique, les hommes ne pouvaient voir dans ces grandes manifestations que des témoignages de la colère ou de la bonté divine; mais, tandis que les parties élevées de la voûte céleste n'offraient à leurs yeux éblouis qu'un splendide tableau d'harmonie, et n'éveillaient en eux que des sentiments d'admiration, les basses régions leur présentaient surtout des phénomènes irréguliers, capricieux, sans liaison apparente, tantôt

propices, tantôt funestes. Les hommes peuplèrent le ciel des héros qui avaient mérité leur reconnaissance, mais ils soumirent l'Atmosphère à l'empire de génies, bons ou mauvais, dont les combats incessants étaient par la victoire des uns ou des autres des sources de richesse et de joie, ou de misère et de chagrin.

Il est peu de peuples dont l'enfance ait échappé à ces superstitions. Les Chaldéens, savants dans la divination, considéraient les éclipses, les tremblements de terre, les météores en général, comme des présages, heureux ou malheureux.

Le peuple hébreu, adorant un Dieu unique, lui donnait pour demeure le *firmament*, qui n'était autre chose, à ses yeux, que la voûte étoilée; mais le Seigneur descendait parfois de son trône pour entrer en communication avec les hommes, au milieu du prestige des météores.

Chez les Étruques et à Rome, les météores étaient considérés, suivant l'explication des livres sibyllins et suivant certaines circonstances, comme de bons ou de funestes présages.

Les annales les plus anciennes et les plus authentiques contiennent de si nombreuses allusions au vent, au temps, à la pluie, au tonnerre, à l'éclair, à la grêle, et aux corps célestes, autres que le soleil et la lune ces astres suprêmes, qu'elles nous fournissent une preuve irrécusable de l'immense intérêt qu'on y attachait même dans les temps les plus reculés. « Il y a probablement peu d'hommes versés dans l'étude des auteurs anciens, dit l'amiral Fitz-Roy, qui, dans le récit mythologique de l'enlèvement du feu céleste par Prométhée, ne voient autre chose qu'une expérience dans le genre de celle de Franklin, ou qui doutent de l'emploi de fils conducteurs (paratonnerre) par Pythagore. Toutefois il est singulier que les travaux de ce philosophe n'aient nulle part été suivis de résultats pratiques, tandis qu'il est constant que dans l'extrême Orient, depuis l'île de Ceylan jusqu'au Japon, au lieu de chercher à soutirer et à neutraliser le feu électrique, on a de temps immémorial cherché à le détourner au moyen d'un morceau de verre, ou d'un peloton de soie fixé au sommet de chaque édifice important. »

Au moyen âge l'astronomie fut séparée et mise au-dessus des autres sciences; la chimie fut étudiée d'une manière particulière; les recherches météorologiques seules furent presque délaissées, jusqu'à ce que les travaux de Dampier, de Halley et de Hadley eussent fait naître un esprit d'investigation dans les lois et les forces atmosphériques.

La science météorologique, telle qu'elle existe aujourd'hui et telle que nous l'avons exposée dans cet ouvrage, est due à peu près tout entière aux travaux de ce siècle, avant lequel nous n'avions que les éléments, importants sans doute, mais incomplets, établis par les travaux divers de Galilée, Otto de Guéricke, Torricelli, Descartes, Réaumur, Franklin, Romas, Nollet, Cotte, Lavoisier, etc. C'est surtout par le grand nombre des observations, par l'étendue embrassée et analysée, que les travaux de notre siècle auront élevé la science des météores à la dignité de science exacte. Ces observations intelligentes et discutées, nous les devons à un nombre fort respectable de savants, disséminés à la surface de l'Europe et de l'Amérique, et dont la plupart vivent encore. Il serait difficile de les signaler tous à la reconnaissance des amis des sciences; mais les plus éminents, dont les noms se sont trouvés fréquemment cités dans les divers sujets explorés en cet ouvrage, peuvent légitimement être rappelés ici. Qu'il nous suffise de nommer Gay-Lussac, Humboldt, Arago, Quételet, Kaemtz, Reid, Redfield, Piddington, Dove, Bravais, Renou, Sainte-Claire-Deville, Fitz-Roy, Glaisher, Marié-Davy. Ces noms éminents sont inscrits par ordre de date, et non, bien entendu, par ordre de mérite, dont je n'ai à aucun titre le droit de me faire juge.

Les connaissances relatives à la marche moyenne de température, à ses applications si intéressantes, à la distribution des vents, des pluies, des météores journaliers pour nos climats, sont dues surtout aux travaux analytiques persévérants de Quételet à l'Observatoire de Bruxelles et aux discussions de Kaemtz.

Les connaissances relatives aux cyclones et à la marche des tempêtes sur les océans sont dues surtout aux recherches de l'Américain Redfield et de l'Allemand Dove.

Les connaissances relatives à l'application de la marche des tempêtes, à la variation du temps dans nos climats, sont dues surtout à l'amiral Fitz-Roy en Angleterre et à M. Marié-Davy à l'Observatoire de Paris.

Les connaissances relatives aux nuages et aux phénomènes optiques qui se manifestent dans les régions supérieures, sont dues surtout aux recherches de Bravais, Renou, Silbermann, à Paris.

Différents hommes, plus ou moins instruits, se sont imaginé en ces dernières années pouvoir prédire le temps une année à l'avance. Celui qui a fait le plus de bruit est certainement feu Mathieu (de la Drôme). A l'origine de ses prédictions, comme le témoignent des lettres qu'il m'a adressées et que je possède encore, il croyait

sincèrement qu'en interprétant avec soin les phases de la Lune on pouvait deviner à peu près la nature des changements de temps qui doivent avoir lieu. J'ai discuté autrefois sérieusement cette question dans le *Cosmos*. Mais je doute fort que l'auteur des almanachs ait gardé cette illusion jusqu'à la fin de ses jours, car souvent ses prédictions ont été radicalement démenties par l'événement. Il est certain, pour tout homme de bonne foi, qu'il est impossible de deviner le temps par les phases de la Lune, quoique le sujet frappe d'abord l'esprit et demande à être discuté. Voyons un instant où la science positive en est actuellement à cet égard.

La Lune n'est pas absolument sans influence sur l'Atmosphère.

Elle agit d'abord par voie d'attraction pour former les marées, — haute mer et haute atmosphère, — le jour qui suit la nouvelle et la pleine lune, ainsi que la basse mer et la basse atmosphère le jour qui suit le premier et le dernier quartier. Mais ces marées atmosphériques sont presque insensibles dans les couches basses sous lesquelles nous habitons. Voici par exemple les résultats variés de plus de cinquante années d'observations diverses, que j'ai sous les yeux.

D'après vingt ans d'observations faites à Viviers (Ardèche), par Flaugergues, la hauteur du baromètre est en moyenne :

Aux quadratures, de	755^{mm},81
Aux syzygies, de	755 39
Différence	0 42

C'est-à-dire que le baromètre est plus haut de 0^{mm},42 au premier et au dernier quartier qu'à la nouvelle et à la pleine lune. Ce devrait être l'opposé.

D'après les discussions enregistrées à Paris par Bouvard, cette hauteur est en moyenne :

Aux quadratures, de	756^{mm},59
Aux syzygies, de	755 90
Différence	0 69

Ce résultat, du même sens que le précédent, ne se comprend pas davantage.

D'après les études faites à Bruxelles, le maximum de hauteur barométrique arrive la veille du premier quartier; un autre maximum arrive la veille de la pleine lune; le minimum arrive à la nouvelle lune, et aussi le vingt et unième jour.

D'après les documents relevés à Cayenne par M. Charles Deville, un maximum arrive à la nouvelle lune, un autre au dixième jour de la lune, un 3e le dix-huitième jour, un 4e le quarante-troisième. Le minimum s'est manifesté la veille du premier quartier, le lendemain de la pleine lune, le vingt et unième jour.

Je vois aussi dans les observations faites à Alexandrie en 1866 les résultats suivants :

Nouvelle lune	754^{mm},39
Premier quartier	754 27

Pleine lune	751mm,01
Dernier quartier	753 11

Le maximum appartient à la nouvelle lune, le minimum à la pleine.

On voit qu'il n'y a rien à tirer de ces observations.

Ce résultat négatif ne prouve pas que les marées atmosphériques supérieures soient sans influence sur le temps.

Voyons si des observations également précises ont mis en évidence une correspondance plus marquée entre les phases de la lune et la pluie.

Une période de vingt-huit années d'observations à Munich, Stuttgart et Augsbourg a donné à Schübler les résultats suivants :

Nombre de jours de pluie en 20 ans.

De la nouvelle lune au premier quartier	764
Du premier quartier à la pleine lune	845
De la pleine lune au dernier quartier	761
Du dernier quartier à la nouvelle lune	696

Le maximum s'est présenté entre le premier quartier et la pleine lune; le minimum entre le dernier quartier et la nouvelle lune. En examinant séparément les jours, il trouve que sur une proportion de 10 000 jours de pluie, il y en a eu :

Le jour de la nouvelle lune	306
— du premier quartier	325
— de la pleine lune	337
— du dernier quartier	284

A Vienne (Autriche), Pilgram remarqua sur cent observations de la même phase :

Nouvelle lune	26 chutes de pluie.
Moyenne des deux quartiers	25 —
Pleine lune	29 —

M. de Gasparin, comparant les observations faites en trois points de l'Europe bien différents, Paris, Carlsruhe et Orange, a trouvé que du quatrième jour après la nouvelle lune au quatrième jour après la pleine lune, il tombe :

A Paris	612 pluies
A Carlsruhe	674 —
A Orange	342 —

Tandis que pendant la lune décroissante, jusqu'au quatrième jour après la nouvelle lune, il n'en tombe que :

A Paris	578
A Carlsruhe	630
A Orange	315

Ces résultats s'accordent pour montrer qu'il pleut davantage entre le premier

quartier et la pleine lune qu'en tout autre temps. Au point de vue du nombre des jours couverts et de la quantité d'eau tombée, voici ce que Schübler a constaté :

	Nombre de jours sereins en 16 ans.	Nombre de jours couverts en 16 ans.	Quantité de pluie en millimètres.
Nouvelle lune..................	31.......	61......	674
Premier quartier...............	38.......	57.......	625
4 jours avant la pleine lune (max.)	25.	65.......	679
Dernier quartier...............	41.......	53.......	496

En Angleterre, M. Glaisher a réuni et discuté les observations de 19 726 jours, s'étendant du 10 janvier 1815 au 12 janvier 1869; il constate que l'âge de la lune a une influence sur la fréquence comme sur l'intensité de la pluie. Les plus fortes pluies sont arrivées du vingt et unième au vingt-sixième jour de la lune et du cinquième au neuvième; les plus faibles sont arrivées à l'époque de la nouvelle lune. La pluie est plus fréquente pendant la semaine qui précède et suit la pleine lune, et moins fréquente pendant la première et la deuxième semaine de la lunaison; le maximum précède la pleine lune et le minimum la nouvelle lune.

On a également constaté qu'il pleut davantage au périgée qu'à l'apogée.

La Lune a une action sur l'Atmosphère. Mais quelle est la nature de cette action? Ce n'est pas une marée aérienne analogue à celle de l'océan, nous venons de le voir. Est-ce une action calorifique? D'après les expériences les plus minutieuses de Melloni, Piazzi, Smyth, lord Rosse, Marié-Davy, la chaleur des rayons lunaires qui arrive au fond de l'atmosphère où nous respirons est à peine égale à 12 *millionièmes de degré!* Sur le pic du Ténériffe, sous une épaisseur bien moindre d'atmosphère, elle a été trouvée égale au tiers de celle d'une bougie placée à $4^{m},75$ de distance. C'est toujours extrêmement faible. Mais si les rayons calorifiques de la lune sont à peine sensibles ici, il n'en est pas de même de ses rayons *lumineux,* qui sont assez intenses pour dissiper l'obscurité de nos nuits, et de ses rayons *chimiques,* qui sont assez puissants pour nous permettre de photographier instantanément et avec tous ses détails la géographie de notre satellite. Ainsi, si nous divisons le spectre lunaire comme nous avons divisé plus haut le spectre solaire, nous remarquerons que, des trois espèces de rayons, les plus faibles sont les plus lents, les calorifiques, et que l'intensité va en augmentant de la gauche à la droite du spectre, sa lumière étant plus forte que sa chaleur, et sa puissance chimique plus forte que les deux autres.

On peut donc admettre que la Lune a une influence chimique sur les délicates réactions qui s'opèrent pendant la nuit dans les feuilles et les organes des végétaux. On peut admettre aussi que dans les hauteurs aériennes, en certaines situations des nuages

où il suffit d'une cause extrêmement faible pour les modifier, la Lune peut les manger, comme dit le proverbe populaire. J'ai moi-même remarqué plusieurs fois, dans mes voyages en ballon, que certaines nuées se dissolvent rapidement sous l'influence de la pleine lune. En un mot, l'astre des nuits n'est pas tout à fait sans influence sur nous. Mais son action ne peut pas être comparée à celle du Soleil, et ne règle point le temps, comme quelques météorologistes amateurs le supposent.

Dans l'état actuel de nos connaissances, on ne peut donc encore rien baser sur les phases de la lune, malgré les indices précédents. Tout au plus peut-on simplement attendre un changement de temps, en beau ou en laid, à la N. L. ou à la P. L. prochaine. Mais on ne peut même l'affirmer, et ce qui fait qu'un grand nombre de cultivateurs et de marins donnent la première place aux quatre phases de la lune pour la réglementation du temps, c'est qu'ils n'y regardent pas à un ou deux jours près, avant ou après, remarquent une coïncidence, et n'en remarquent pas dix qui n'arrivent pas.

La prévision du temps à longue échéance ne saurait donc inspirer aucune confiance, en tant que basée sur les mouvements de la Lune. Cette prévision du temps ne peut du reste être basée davantage sur d'autres documents. Actuellement il est absolument stérile d'aventurer des conjectures sur le beau ou le mauvais temps, une année, un mois, une semaine même à l'avance.

Il ne sera possible de prévoir la marche du temps qu'à l'époque où des observations multipliées sur la surface entière du globe auront permis d'analyser les divers mouvements météorologiques mensuels et diurnes. Lorsque l'homme tiendra sous son regard l'ensemble de la circulation atmosphérique, comme il tient déjà le globe terrestre, géologique, climatologique et astronomique, il suivra la marche des ondes qui passent d'un méridien à l'autre, les fluctuations qui traversent les latitudes, les directions de courants déterminées par la différence des terres et des mers, par le relief du sol, par les chaînes de montagnes, — la distribution des pluies suivant les mouvements atmosphériques, les saisons et les contrées, — la succession des vents, etc., etc.; la science arrivera à dominer les lois invariables et les forces constantes qui régissent ces mouvements, quelque compliqués et obscurs qu'ils nous paraissent encore; car, comme l'a écrit Laplace : La moindre molécule d'air est soumise dans ses mouvements à des lois aussi invariables que celles qui régissent les corps célestes dans l'espace.

Cette étude des mouvements généraux de l'Atmosphère est commencée depuis une vingtaine d'années. Les météorologistes américains Piddington et Espy ont commencé les premiers à appliquer l'instantanéité des dépêches du télégraphe électrique à établir l'état du temps à un moment déterminé sur plusieurs points très-éloignés les uns des autres, et à suivre les mouvements atmosphériques constatés. C'était vers 1850. En 1853, un congrès spécial de météorologistes s'assembla à Bruxelles et posa le grand problème de la météorologie dans ses termes principaux. M. Quételet montra que si l'on réunit par des lignes tous les points où, au même instant, le baromètre vient de cesser de monter et va recommencer à descendre, c'est-à-dire les points sur lesquels passe à un moment donné un maximum barométrique, on remarque que ces lignes, qui traversent souvent l'Europe entière, se transportent de proche en proche, de la même manière qu'on voit se propager les ondes développées à la surface d'un liquide. La célèbre tempête de Balaklava en Crimée, le 16 novembre 1854, accompagnait le creux qui séparait deux ondes consécutives, minimum barométrique qui était passé le 12 après midi à Paris, le 13 à Bruxelles, le 14 à Vienne, le 15 à Pétersbourg. Cette tempête excita profondément l'intérêt des météorologistes. M. Liais engagea instamment le directeur de l'Observatoire de Paris à imiter les essais faits en Amérique, et au commencement de l'année 1855 on commença à se concerter avec l'administration des lignes télégraphiques françaises pour réunir chaque jour à Paris les principaux documents relatifs à l'état du baromètre, du thermomètre, du vent et du ciel sur différents points de la France. Telle est l'origine du service télégraphique météorologique de l'Observatoire.

En même temps le *Board of trade* d'Angleterre et l'amiral Fitz-Roy organisaient un service analogue pour suivre les mouvements atmosphériques et prévenir de leur marche probable les points menacés des côtes britanniques.

Le service météorologique établi à l'Observatoire se développa peu à peu et ne tarda pas à devenir *international*. Lorsque j'entrai dans cet établissement, en 1858, on recevait déjà tous les matins comme aujourd'hui l'état du temps en un certain nombre de stations choisies sur l'Europe entière, et l'on en concluait une certaine probabilité de mauvais temps pour les régions où le baromètre baissait, probabilité que l'on faisait connaître télégraphiquement à tous les points menacés. L'entrée de M. Marié-Davy à l'Observatoire, en 1863, fut marquée par un progrès considérable dans le

service météorologique. Au mois de septembre, on commença à tracer sur une carte muette d'Europe les courbes d'égale pression barométrique, qui montrent au premier coup d'œil la forme et la succession des ondes. On put dès lors suivre beaucoup plus facilement la marche des tempêtes, et dès les premiers jours de décembre on annonçait aux côtes de France l'ouragan qui allait sévir; les chambres de commerce et les marins agirent en conséquence des prévisions signalées.

Il est visible que la plupart des tempêtes qui envahissent l'Europe arrivent du sud-ouest, se dirigent au nord-est et se perdent en Sibérie. M. Marié-Davy a pu les rattacher aux cyclones que nous avons étudiés plus haut, et réunir en quelque sorte sous une même dénomination les grands mouvements atmosphériques qui se manifestent sur les continents et sur les mers.

Le *Bulletin* quotidien de l'Observatoire de Paris nous fait voir en quelque sorte le mauvais temps de loin et nous en fait suivre la marche. Nous avons remarqué au chapitre des Vents la correspondance des différentes directions du vent avec la pluie, et au chapitre des Cyclones la correspondance de l'abaissement du baromètre avec le même météore. Une carte synoptique de l'état du ciel à la surface de l'Europe nous montre que le mauvais temps accompagne le centre de dépression barométrique, surtout sur le bord méridional des tourbillons, où le vent est d'entre S. et O. Il est presque sans exemple qu'un tourbillon ait abordé l'Europe sans y produire de la pluie, ou qu'un temps pluvieux arrive sans se rattacher à l'existence d'un mouvement tournant. Le passage d'un tourbillon dans un lieu donné ne dure généralement qu'un petit nombre de jours; les pluies qu'il amène sont de courte durée, surtout en été; mais ils se succèdent à des intervalles souvent très-rapprochés, et leur ensemble peut constituer toute une saison pluvieuse. En été, les tourbillons n'ont d'ordinaire qu'un champ d'action restreint. La terre est plus chaude que la mer ; les vents, chargés de vapeur sur l'océan, tendent à s'éloigner de leur point de saturation en pénétrant sur le continent à cause de la température plus élevée qu'ils y prennent; mais la décroissance verticale de la chaleur est rapide, et il se produit des pluies abondantes, mais peu prolongées. En hiver, la terre est au contraire plus froide que la mer; le courant équatorial se refroidit à mesure qu'il avance; il reste surchargé de vapeur, et le plus faible abaissement de température y produit des pluies vastes et longues. — Les orages suivent la marche des pluies. Il ne s'en forme jamais dans la ré-

gion occupée par les fortes pressions, mais seulement sur le trajet du courant équatorial. La température s'adoucit avant l'arrivée des pluies.

Les conséquences de tout ce qui précède, dirons-nous avec M. Marié-Davy, sont « que les changements dans l'état de l'atmosphère en une région déterminée de l'Europe sont le résultat direct du déplacement du lit du grand courant aérien venu de l'Atlantique et du passage des mouvements tournants qui s'y produisent; que le problème de la prévision des temps consiste dès lors à épier ces déplacements, à saisir les premiers signes de l'arrivée de chaque mouvement tournant, à déterminer l'étendue et l'intensité du météore, la distance à laquelle il doit passer de la région considérée, la direction qu'il doit suivre, la vitesse avec laquelle il se transporte. »

Les cartes synoptiques, ajoute le même auteur, étendues d'abord à la surface de l'Europe, puis sur l'Atlantique, sont un grand pas de fait dans cette voie : elles ne suffisent déjà plus. « Il est indispensable qu'elles embrassent dans l'avenir l'Amérique, puis l'océan Pacifique, et enfin l'Asie. Dans l'état actuel de la science, nous avons la conviction que des dépêches télégraphiques venant d'Amérique ou de Sibérie nous permettraient de prévoir 8 à 10 jours à l'avance les grands changements de temps. — Le météorologiste qui veut prévoir le temps doit suivre avec soin la marche de tous ses instruments, et rester attentif aux moindres signes présentés par l'aspect du ciel. »

J'avais pensé, jusqu'à ce moment, reproduire ici, pour compléter ces explications, quelques cartes du bulletin quotidien de l'Observatoire. Malheureusement elles n'éclairciraient pas les notions générales qui viennent d'être données. Il faut en comparer une série souvent assez longue pour constater le rapport qui existe entre le déplacement du centre de dépression et l'état du ciel aux différentes stations. Il ne pleut pas partout où le baromètre est bas, ni même partout où il est bas avec un vent du S. O., ni même partout où avec ces deux conditions la température s'est adoucie. On ne peut encore traduire en formule la production de la pluie sur telle ou telle zone barométrique, et nous sommes forcés, bien malgré nous, de nous en tenir aux remarques toujours vagues qui précèdent.

En dehors de cette prévision scientifique du temps par l'examen des mouvements tournants qui se transmettent de l'Atlantique à travers l'Europe entière, il y a des remarques populaires qui ne

sont pas à dédaigner, et qui rendent souvent les prévisions des habitants des campagnes plus sûres et plus locales que celles des savants des observatoires : il n'y a aucune fausse honte à l'avouer. Signalons les principaux pronostics.

Les *halos* et *couronnes* qui apparaissent autour de la lune annoncent que le ciel sera couvert le lendemain et probablement pluvieux, d'une pluie fine d'assez longue durée.

Le soleil couchant derriere des nuées écarlates et vaporeuses, qui donnent ces merveilleux effets de *pourpre foncé* et colorent tout le paysage, annonce la pluie.

La *transparence* de l'air, qui rapproche les objets lointains et permet de distinguer de singuliers détails à plusieurs lieues de distance, annonce également la pluie.

Les mauvaises odeurs qui s'exhalent de certains lieux, égouts, citernes, etc., sont dues à la diminution de la pression atmosphérique et à des conditions hygrométriques qui annoncent également la pluie.

Le brouillard qui descend annonce le beau temps; celui qui s'élève annonce la pluie.

Certains animaux offrent des pronostics rarement trompeurs. Aux approches de la pluie, le chat fait sa barbe, l'hirondelle vole bas, les oiseaux lustrent leurs plumes, les poules se couvrent de poussière, les poissons sautent hors de l'eau, les mouches piquent plus fortement.

Deux vents de direction opposée qui se succèdent amènent ordinairement la pluie.

Ciel gris le matin, beau temps. Si les premières lueurs du jour paraissent au-dessus d'une couche de nuages, vent. Si elles paraissent à l'horizon, beau temps.

De légers nuages à contours indécis annoncent du beau temps et des brises modérées : des nuages épais, à contours bien définis, du vent. Des nuages légers courant rapidement en sens inverse de masses épaisses annoncent du vent et de la pluie.

Un ciel pommelé précède ordinairement un ciel couvert et de la pluie.

Les nuages qui marchent en un sens différent de celui du vent qui souffle à la surface du sol, annoncent généralement un changement prochain de direction du vent dans le sens indiqué.

Enfin, pour chaque pays, la direction du vent, combinée avec l'état du ciel et de la température, trompe rarement, même 24 heures à l'avance, les prévisions d'un observateur exercé; on

remarque surtout cette sûreté de sensation chez certaines personnes qui, à défaut de baromètre, sont douées de cette sensibilité nerveuse ou maladive qui souffre aux moindres variations de la pression atmosphérique.

Ces divers pronostics toutefois ne seront jamais accessibles aux habitants des villes, dont la situation et les intérêts laisseront toujours l'esprit assez étranger aux choses de la nature. Il serait difficile que des observateurs exercés s'en servissent même pour compléter les renseignements scientifiques fournis par l'observation des instruments, parce que ces pronostics varient souvent d'une localité à l'autre. C'est donc par l'observation simultanée établie sur la vaste étendue de l'Europe, et, s'il est possible, de l'Atlantique, de l'Amérique et de l'Asie, que l'on peut espérer de parvenir, comme nous le disions plus haut, à connaître les lois générales qui régissent les temps et à analyser leurs diverses applications.

C'est à cette détermination que tend, en dernière analyse, l'organisation du service télégraphique international centralisé à l'Observatoire de Paris.

La météorologie, l'étude du temps, embrasse une sphère d'action beaucoup plus considérable que celle des mouvements atmosphériques et de la prévision du temps : elle se compose en réalité de l'étude générale de la manière d'être de l'Atmosphère tout entière, dans le temps comme dans l'espace. L'état moyen des températures de chaque lieu et leurs variations, le retour des grandes périodes de chaleur ou de froid, la marche de l'humidité, des nuages et des pluies, l'analyse des phénomènes optiques, l'œuvre de l'air dans la vie des plantes, des animaux et des hommes, etc., tous ces éléments constituent les bases de la science météorologique et sont l'objet de son étude constante. L'Observatoire de Paris vient de compléter sa mission météorologique en se faisant définitivement le centre d'une organisation départementale, établie par le ministre de l'instruction publique pour observer sur la surface entière de la France les éléments de la marche du temps. Les observations météorologiques régulièrement faites chaque jour dans les écoles normales permettront de connaître exactement chaque point de notre pays au point de vue qui nous occupe, et de construire un atlas physique de la France qui représente exactement sa condition climatologique. Les progrès de l'agriculture sont intimement liés à cette connaissance, et en dehors de l'intérêt

pur de la science, cet ensemble de travaux aura pour but définitif d'accroître la richesse foncière du territoire.

Quelle que soit la part que prenne un observatoire astronomique aux recherches si variées de la météorologie, il ne peut cependant s'y consacrer entièrement. Il ne peut même en faire le premier objet de son travail, sans déchoir de son rang spécial, sans nuire au but de sa fondation. Malgré les admirables et immortels progrès de l'astronomie moderne, cette science sublime n'est point arrêtée dans son cours; chaque découverte nouvelle ouvre des horizons inconnus, un champ infini d'explorations sollicite incessamment l'œil et l'esprit de l'astronome, dans tout établissement spécial placé sous les auspices de la divine Uranie.

C'est dans cette pensée que le laborieux ministre Duruy a fondé en 1868, de concert avec la Société météorologique de France, un Observatoire spécial de physique et de météorologie.

Au sud de l'Observatoire national, sur la limite du faubourg Saint-Jacques et de Montrouge, s'étend, jusqu'aux fortifications, le vaste plateau de Montsouris, désert et inhabité, calme et silencieux, comme l'était il y a deux siècles le terrain sur lequel Colbert fonda l'Observatoire. De ce plateau élevé, on découvre Paris tout entier, et ses environs jusqu'à une vaste distance. La grande ville avec ses tours, ses monuments, ses coupoles, rappelle aux yeux pensifs du contemplateur la vieille Babylone étendue sous le regard de l'astronome de la tour de Babel. Au soleil couchant, elle flamboie dans la pourpre et l'or, tandis qu'autour de la mire de l'Observatoire, qui ressemble assez bien à un monument funèbre, la colline de Montsouris et la vallée de la Bièvre s'enveloppent de silence et d'ombre.

Un parc de vaste étendue est projeté et presque dessiné actuellement. Il est probable que l'année 1872 ne s'achèvera pas sans qu'il représente en ce quartier de Paris ce que le parc Monceaux et celui des buttes Chaumont sont pour d'autres quartiers. Dès le printemps de 1869, la ville de Paris établissait, à la partie la plus méridionale et la plus élevée du terrain destiné au parc, le pavillon du bey de Tunis, le charmant édifice oriental du Bardo, que les visiteurs de l'Exposition universelle ont admiré au Champ de Mars en 1867. Malgré sa légèreté apparente, ce pavillon est aujourd'hui assez confortablement distribué en divers bureaux météorologiques, salles d'instruments, bibliothèques, etc. Autour de l'établissement, deux hectares de terrain sont séparés du parc, et affectés exclusivement aux observations météorologiques. Les appareils installés

dans ce jardin ne sont plus affectés, comme ceux de l'intérieur de Paris, par le rayonnement des édifices; l'air circule comme en pleine campagne; la girouette et l'anémomètre ne peuvent être influencés par le voisinage; en un mot, il y a là une installation toute spéciale et dans les véritables conditions nécessaires à la précision des observations météorologiques.

Grâce à la persévérance de M. Charles Sainte-Claire-Deville, président de la commission de la fondation de cet observatoire,



Fig. 228. — L'Observatoire de Montsouris.

un service complet d'observations météorologiques fonctionne là depuis 1869. Les thermomètres sont placés dans un bosquet qui les abrite du soleil tout en laissant circuler l'air. Quatre thermomètres mesurent la marche de la température de l'air; deux autres sont consacrés aux maxima et aux minima; trois autres (boule noircie, boule verdie, thermomètre dans le vide) sont consacrés à mesurer l'action solaire. L'ozone, la lumière diffuse, l'état du ciel, l'humidité, le vent, la quantité d'eau tombée, sont observés assidûment. Les observations sont faites régulièrement de trois en trois heures : à 1^h, 4^h, 7^h, 10^h du matin,

1^h après midi, 4^h, 7^h, et 10^h du soir. Chaque mouvement atmosphérique est saisi sur-le-champ et suivi avec soin. Aucun orage ne peut fondre sur Paris sans être relevé dans tous ses détails. Quatorze stations municipales disséminées sur toute l'étendue de Paris constatent la quantité de pluie tombée en chaque point, l'ozone, la hauteur et la température de la Seine. Des stations installées aux environs de Paris relèvent des observations correspondantes. Enfin, des stations maritimes, échelonnées de la Manche à la Méditerranée, correspondent également chaque jour avec cet observatoire central de météorologie. Un bulletin quotidien publie tous ces éléments. Un bulletin hebdomadaire résume la semaine au point de vue de l'œuvre de l'Atmosphère dans la vie du globe : floraison et fructification des plantes, état des récoltes, santé publique.... On voit avec quelle largeur de vue, avec quel soin scientifique, ce programme a été tracé et réalisé. On sent quelle espérance la science française doit mettre en une œuvre commencée avec tant d'amour, je dirai même avec tant de passion, lorsqu'on sait quelle modicité de ressources a été jusqu'ici affectée à cet établissement naissant, par un ministère qui n'a du reste d'autre budget lui-même que les miettes qu'il est admis à ramasser sous la table du ministère de la guerre.

Ainsi la France est actuellement dans une situation inespérée pour le développement des études météorologiques et pour le progrès de la connaissance de l'Atmosphère. Un observatoire spécial est fondé pour la météorologie, et merveilleusement organisé sur le plateau de Montsouris par la persévérance et le dévouement scientifique de M. Ch. Sainte-Claire-Deville et de son laborieux collègue M. Renou. L'Observatoire national de Paris, d'autre part, a pris plus à cœur que jamais cette même étude, malgré la sympathie de son nouveau directeur pour les mathématiques pures, et grâce aux prédilections justifiées de M. Marié-Davy. Si la science a eu le regret de perdre pendant le siége funeste de l'hiver dernier notre excellent et laborieux ami Sonrel, la météorologie continue d'être soutenue dans notre illustre établissement national par des travailleurs tels que MM. Fron et Rayet, sans oublier leurs adjoints. Et à côté de ces deux services distincts spéciaux, Montsouris et le bureau météorologique de l'Observatoire, un troisième et vaste élément de progrès est encore fourni par l'Association scientifique de France, à laquelle on doit tant de beaux travaux réalisés lorsqu'elle avait son siége à l'Observatoire, et qui ne paraît pas vouloir décroître dans sa contribution au progrès de la science mé-

téorologique française. Un quatrième appoint est encore apporté à ces études spéciales par les travaux constants de la Société météorologique de France.

Si, avec ces quatre éléments français, et avec les travaux officiels et particuliers analogues des autres nations, la météorologie n'arrive pas avant la fin du siècle à pouvoir être formulée sur des principes simples constants, comme sa sœur aînée l'astronomie, ce serait à désespérer. Sans contredit ces quatre centres d'études distincts ne chercheront pas à se gêner mutuellement ou à s'enrayer l'un l'autre par un esprit mesquin de rivalité. Les savants sont au-dessus de ces petitesses du vulgaire. Au contraire, l'émulation, si même elle peut subsister dans ces hautes sphères de l'étude pure de la nature, servira à tripler, à décupler leurs mutuels efforts. Les divisions nationales n'existent pas non plus, et la science n'a pas de patrie.

J'ai essayé de représenter dans cet ouvrage l'état actuel de nos connaissances sur l'Atmosphère. C'est cependant moins un traité de météorologie qu'une description des phénomènes, des lois et des forces en action constante dans l'immense usine de la vie terrestre. Malgré de longues veilles, malgré de si nombreuses pages, qui plus d'une fois ont dû mettre à une rude épreuve la patience de mon lecteur, je ne suis pas encore parvenu à décrire le temps comme on décrit les mouvements des astres, à prédire le caractère météorologique des années, des saisons et des jours à venir, comme nous annonçons, par des règles invariables, la marche astronomique de la Terre et des mondes. J'espère que ce lumineux et fécond dix-neuvième siècle ne se passera pas sans que ce plaisir puisse m'être donné, dans les éditions futures de *l'Atmosphère*.

FIN.

OUVRAGES CONSULTÉS.

Bulletin international quotidien de l'Observatoire de Paris (1857-1871).
Bulletin quotidien de l'Observatoire météorologique de Montsouris (1869-1871).
Annuaire de la Société météorologique de France (1849-1869).
Nouvelles météorologiques de France (1868-1871).
Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences.
Lehrbuch der Meteorologie, par le professeur *Kaemtz*, 3 vol.
Cours complet de Météorologie, de *Kaemtz*, traduit et annoté par *Ch. Martins*, 1 vol.
Notices scientifiques de *François Arago*, 5 vol.
Météorologie de la Belgique comparée à celle du Globe, par *Ad. Quételet*.
Climat de la Belgique et Phénomènes périodiques, par le même, 4 vol. in-4.
Les Mouvements de l'Atmosphère et des Mers, par *Marié-Davy*.
La Terre, par *E. Reclus*, 2 vol. gr. in-8.
Le Ciel, par *A. Guillemin*, 1 vol. gr. in-8.
Les Phénomènes de la physique, par le même, 1 vol. gr. in-8.
Le Soleil, par le même.
Le Tour du monde, 10 vol. gr. in-8.
Etudes et Lectures sur les sciences, par *Babinet*, 8 vol.
Cosmos, description physique du Monde, par *A. de Humboldt*, 4 vol.
Lois des Tempêtes et Mouvements de l'Atmosphère, par *Dove* (Ministère de la marine).
The Weather-Book, par l'amiral *Fitz-Roy*.
On Hurricanes and Northers, par *W. C. Redfield*.
The Philosophy of Storms, par *Espy*.
Sailor's Hornbook for the law of Storms, par *Piddington*.
The Progress of the developement of the law of Storms, par *W. Reid*.
Exposition du système des Vents, par *Lartigue*.
Prévision du Temps, par *Labrosse*.
Proceedings of the meteorological Society, par *J. Glaisher*.
Annales de l'Observatoire royal de Bruxelles.
Les Insectes, par *Louis Figuier*.
Les Grandes Inventions, par le même.
Thèse sur les Orages, présentée à la Faculté des sciences de Paris, par *Fron*.
Thèse sur les Mouvements de l'Atmosphère, présentée à l'Académie des sciences, par *Sonrel*.
De la Pluie en Europe, par le commandant *Rozet*.
Les Trombes, par *A. Peltier*.
Agronomie et Chimie agricole, par *Boussingault*, 4 vol.
Physique et Météorologie, de *Pouillet*, 2 vol.
Physique et Météorologie, de *Becquerel*, 2 vol.
La Météorologie dans ses rapports avec la science de l'homme, par le Dr *Foissac*, 2 vol.
De la Foudre, de ses formes et de ses effets, par le docteur *Sestier*, 2 vol.
Mémoires du docteur *Boudin* sur la Foudre.
Météorologie religieuse et mystique, par le docteur *Grellois*.
Atlas des mouvements généraux de l'Atmosphère, publié par l'Association scientifique.
Bulletins hebdomadaires de l'Association scientifique.
Les Mondes, par l'abbé *Moigno*.
Notices météorologiques diverses, par *A. Poey*.
Les Météores, par *Zurcher et Margollé*.
Éclairs et tonnerre, par *W. de Fonvielle*.
L'Eau, par G. *Tissandier*.
Les Merveilles du corps humain, par le docteur *Le Pileur*.
Les Forces physiques, par *A. Cazin*.

TABLE DES GRAVURES.

FIGURES INSÉRÉES DANS LE TEXTE.

PLANCHES EN CHROMOLITHOGRAPHIE.

CARTES.

TABLE DES MATIÈRES.

LIVRE PREMIER.

NOTRE PLANÈTE ET SON FLUIDE VITAL.

CHAPITRE I.

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

CHAPITRE VI.

CHAPITRE VII.

CHAPITRE VIII.

LIVRE DEUXIÈME.

LA LUMIÈRE ET LES PHÉNOMÈNES OPTIQUES DE L'AIR.

CHAPITRE I.

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

CHAPITRE VI.

CHAPITRE VII.

CHAPITRE VIII.

CHAPITRE IX.

CHAPITRE X.

CHAPITRE XI.

LIVRE TROISIÈME.

LA TEMPÉRATURE.

CHAPITRE I.

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

CHAPITRE VI.

CHAPITRE VII.

CHAPITRE VIII.

LIVRE QUATRIÈME.

LE VENT.

CHAPITRE I.

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

CHAPITRE VI.

LIVRE CINQUIÈME.

L'EAU. — LES NUAGES. — LES PLUIES.

CHAPITRE I.

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

CHAPITRE VI.

LIVRE SIXIÈME.

L'ÉLECTRICITÉ. — LES ORAGES ET LA FOUDRE.

CHAPITRE I.

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

CHAPITRE VI.

CHAPITRE VII.

CHAPITRE COMPLÉMENTAIRE.

11391 — Typographie Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris.

